

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-335757

(43)Date of publication of application : 18.12.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18  
H01L 33/00

(21)Application number : 09-364012

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 16.12.1997

(72)Inventor : NAGAHAMA SHINICHI  
SENOO MASAYUKI  
NAKAMURA SHUJI

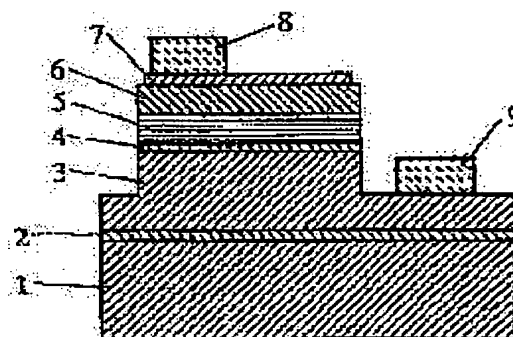
(30)Priority

Priority number : 09 1937	Priority date : 09.01.1997	Priority country : JP
09 12707	27.01.1997	JP
09102793	03.04.1997	JP

**(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT****(57)Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enhance the power efficiency of a nitride semiconductor element, by a method wherein at least one of P-type nitride semiconductor layers is formed into a superlattice layer.

**SOLUTION:** The fundamental structure of this nitride semiconductor element is the fundamental structure of an LED element of a structure, wherein a buffer layer 2 consisting of a GaN layer, an N side contact layer 3 consisting of an N-type Si-doped GaN layer, an active layer 4 consisting of an InGaN layer of a single quantum well structure a P side clad layer 5 consisting of a superlattice layer formed by laminating first layers and second layers, the compositions of which are different from each other, and a P side contact layer consisting of an Mg-doped GaN layer are laminated in order on a substrate 1 consisting of a sapphire. When the film thickness of the first and the second layers constituting the superlattice layer is thicker than 100 Å, the elastic strain of the first and the second layers exceeds the limit of the elastic strain, and as a micro-cracking or a crystal defect becomes liable to be formed in the film of the first and the second layers, it is preferable that the film thickness is set in a film thickness thinner than 100 Å.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 22.02.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3374737

[Date of registration] 29.11.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**


---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] It is the nitride semiconductor device characterized by at least one of said the p mold nitride semi-conductor layers being a superlattice layer in the nitride semiconductor device equipped with 1 or multilayer p mold nitride semi-conductor layer, and the barrier layer that consists of a nitride semi-conductor which a carrier is poured in through this p mold nitride semi-conductor layer, and carries out predetermined actuation.

[Claim 2] It is the nitride semiconductor device characterized by at least one of said p mold nitride semi-conductor layer and said n mold nitride semi-conductor layers being a superlattice layer in the nitride semiconductor device which has a barrier layer between 1, multilayer n mold nitride semi-conductor layer and 1, or multilayer p mold nitride semi-conductor layer.

[Claim 3] Said superlattice layer is the nitride semiconductor device according to claim 1 or 2 to which the laminating of the 2nd layer which consists of a nitride semi-conductor which a presentation differs from the 1st layer which consists of a nitride semi-conductor which has thickness 100A or less, and this 1st layer, and has thickness 100A or less was carried out.

[Claim 4] The nitride semiconductor device according to claim 3 which either [ at least ] said 1st layer or the 2nd layer becomes from the nitride semi-conductor containing aluminum.

[Claim 5] The nitride semiconductor device according to claim 4 whose nitride semi-conductor containing said aluminum is a nitride semi-conductor expressed with formula  $AlYGa1-YN$  (however,  $0 < Y \leq 1$ ).

[Claim 6] The nitride semiconductor device according to claim 5 which said 1st layer becomes from the nitride semi-conductor expressed with formula  $InXGa1-XN$  ( $0 \leq X \leq 1$ ) in said superlattice layer, and said 2nd layer becomes from the nitride semi-conductor expressed with formula  $AlYGa1-YN$  ( $0 \leq Y \leq 1$ ,  $X=Y \neq 0$ ).

[Claim 7] The nitride semiconductor device according to claim 6 which said 1st layer becomes from the nitride semi-conductor expressed with formula  $InXGa1-XN$  ( $0 \leq X < 1$ ) in said superlattice layer, and said 2nd layer becomes from the nitride semi-conductor expressed with formula  $AlYGa1-YN$  ( $0 < Y < 1$ ).

[Claim 8] A nitride semiconductor device given in claim 3 which said the 1st layer and said 2nd layer become from the nitride semi-conductor which has thickness 70A or less, respectively thru/or any 1 term of 7.

[Claim 9] The thickness of said 1st layer and the 2nd layer is a nitride semiconductor device given in claim 3 which is within the limits of 10A - 70A, respectively thru/or any 1 term of 7.

[Claim 10] A nitride semiconductor device given in claim 1 whose thickness of this p side contact layer it has the p side contact layer for said nitride semiconductor device to form p electrode as said p mold nitride semi-conductor layer further, and is 500A or less thru/or any 1 term of 9.

[Claim 11] The nitride semiconductor device according to claim 10 whose thickness of said this p side contact layer is 300A or less and 10A or more further.

[Claim 12] A nitride semiconductor device given in claim 1 by which said superlattice layer was formed between said barrier layer and said p side contact layer coming [ the p side contact layer for said nitride semiconductor device to form p electrode as said p mold nitride semi-conductor layer further ] thru/or any 1 term of 12.

[Claim 13] The 2nd buffer layer which said nitride semiconductor device becomes from the nitride semi-conductor of 0.1 micrometers or more of thickness formed through the 1st buffer layer on the substrate further, this — a nitride semiconductor device given in claim 1 which has the n side contact layer which consists of a nitride semi-conductor which was formed on the 2nd buffer layer, and with which n mold impurity was doped and which comes to form n electrode in this n side contact layer thru/or any 1 term of 13.

[Claim 14] The nitride semiconductor device according to claim 13 whose high impurity concentration of said 2nd buffer layer is low concentration as compared with said n side contact layer.

[Claim 15] Either [ at least ] said 1st buffer layer or said 2nd buffer layer is the nitride semiconductor device according to claim 13 or 14 characterized by the nitride semi-conductor layer of 100A or less of thickness from which a presentation differs mutually consisting of a superlattice layer by which the laminating was carried out.

[Claim 16] A nitride semiconductor device given in claim 2 by which said superlattice layer was formed between said barrier layer and said n side contact layer including the n side contact layer for said nitride semiconductor device to form n electrode as said n mold nitride semi-conductor layer further thru/or any 1 term of 12.

[Claim 17] A nitride semiconductor device given in claim 3 by which the impurity which sets the conductivity type of this layer as n mold or p mold at either [ at least ] said 1st layer or said 2nd layer was doped thru/or any 1 term of 16.

[Claim 18] A nitride semiconductor device given in claim 3 from which the concentration of the impurity which sets the conductivity type of this layer as n mold or p mold doped by said the 1st layer and said 2nd layer differs mutually thru/or

any 1 term of 16.

[Claim 19] The nitride semiconductor device according to claim 18 to which the bandgap energy of said 1st layer and said 2nd layer differed mutually, and bandgap energy enlarged high impurity concentration of a large layer in said nitride semiconductor device.

[Claim 20] Said superlattice layer is a nitride semiconductor device given in claim 3 characterized by being formed as an n side contact layer in which n electrode is formed thru/or any 1 term of 19.

[Claim 21] In the nitride semiconductor device which is equipped with a barrier layer between n mold nitride semiconductor layer containing the n side cladding layer, and p mold nitride semiconductor layer containing the p side cladding layer, and carries out laser oscillation in this barrier layer The 1st layer which said n side cladding layer turns into from the nitride semiconductor which has thickness 100A or less, It is the superlattice layer to which the laminating of the 2nd layer which consists of a nitride semiconductor which a presentation differs from this 1st layer, and has thickness 100A or less was carried out. And the 3rd layer which said p side cladding layer turns into from the nitride semiconductor which has thickness 100A or less, The nitride semiconductor device characterized by being the superlattice layer to which the laminating of the 4th layer which consists of a nitride semiconductor which a presentation differs from this 3rd layer, and has thickness 100A or less was carried out.

[Claim 22] The nitride semiconductor device according to claim 21 by which the crest-like ridge section was formed in the resonance direction in the layer currently formed above said p side cladding layer and this p side cladding layer.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the component which consists of a nitride semi-conductor ( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) used for electron devices, such as photo detectors, such as light emitting devices, such as LED (light emitting diode) and LD (laser diode), a solar battery, and a photosensor, or a transistor. In addition, general formula  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  used in this specification,  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ , etc. are not shown till X value of those layers and Y value being in agreement, even if the empirical formula of a nitride semi-conductor layer is only shown and a different layer is shown by the same general formula, for example.

[0002]

[Description of the Prior Art] The nitride semi-conductor was just put in practical use with the full color LED display, the traffic light, etc. as an ingredient of high brightness blue LED and authentic green LED recently. LED used for these various devices has structure to the double by which the barrier layer which consists of InGaN of single quantum well structure (SQW:Single-Quantum-Well) was sandwiched between n mold nitride semi-conductor layer and p mold nitride semi-conductor layer. Wavelength, such as blue and green, is determined by fluctuating In presentation ratio of an InGaN barrier layer.

[0003] Moreover, these people announced the 410nm laser oscillation in a room temperature for the first time under pulse current in the world recently using this ingredient (for example, Jpn.J.Appl.Phys.Vol35 (1996) pp.L74-76). This laser component is the conditions of 2 microseconds of pulse width, and 2ms of pulse periods, and shows the oscillation of the threshold current of 610mA, and threshold-current consistency 8.7 kA/cm<sup>2</sup>, 410nm. The threshold current announced the improved low laser component further again in Appl.Phys.Lett., Vol.69, No.10, 2 Sep.1996, and p.1477-1479. This laser component has the structure where the ridge stripe was formed in a part of p mold nitride semi-conductor layer, is 1 microsecond of pulse width, 1ms of pulse periods, and 0.1% of duty ratio, and shows the threshold current of 187mA, and threshold-current consistency the oscillation of 2,410 nm of 3kA/cm.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The blue which consists of a nitride semi-conductor, and green LED are forward current ( $I_f$ ) 20mA, and compared with the red LED which forward voltage ( $V_f$ ) becomes from the semi-conductor of those with 3.4V - 3.6V, and a GaAlAs system, more than 2V, since it is high, the further fall of  $V_f$  is desired. Moreover, in LD, the current in a threshold and an electrical potential difference are still high, and in order to carry out continuous oscillation at a room temperature, it is necessary to realize a component with still higher power efficiency for which this threshold current and an electrical potential difference fall.

[0005] Therefore, by reducing the current in the threshold of LD component which mainly consists of a nitride semi-conductor, and an electrical potential difference, the place made into the purpose of this invention realizes continuous oscillation, and reduces  $V_f$  with an LED component, is reliable, and is to realize the nitride semiconductor device excellent in power efficiency.

[0006]

[Means for Solving the Problem] As a result of examining a nitride semiconductor device wholeheartedly that p type layer which sandwiched the barrier layer, and/or n type layer should be improved, by using a superlattice layer for p type layer except a barrier layer, and/or n type layer, this invention persons could make the crystallinity of the layer using a superlattice layer good, newly find out that said problem is solvable, and came to accomplish this invention. That is, in the nitride semiconductor device which the 1st nitride semiconductor device concerning this invention equipped with 1 or multilayer p mold nitride semi-conductor layer, and the barrier layer that consists of a nitride semi-conductor with which a carrier is poured in through this p mold nitride semi-conductor layer, and predetermined actuation is carried out, at least one of said the p mold nitride semi-conductor layers is characterized by being a superlattice layer. Since the resistance of p mold nitride semi-conductor layer which consists of said superlattice layer can be made very low by this, power efficiency of a nitride semiconductor device can be made high.

[0007] Moreover, in the nitride semiconductor device in which the 2nd nitride semiconductor device concerning this invention has a barrier layer between 1, multilayer n mold nitride semi-conductor layer and 1, or multilayer p mold nitride semi-conductor layer, at least one of said p mold nitride semi-conductor layer and said n mold nitride semi-conductor layers is characterized by being a superlattice layer.

[0008] Moreover, in the 1st [ of this invention ], and 2nd nitride semiconductor device, in order to improve the crystallinity of said superlattice layer further, as for said superlattice layer, it is desirable that the laminating of the 2nd layer which consists of a nitride semi-conductor which a presentation differs from the 1st layer which consists of a nitride semi-

conductor which has thickness 100Å or less, and this 1st layer, and has thickness 100Å or less is carried out.

[0009] Furthermore, in the 1st of this invention, or the 2nd nitride semiconductor device, since a carrier is confined in a barrier layer, that either [ at least ] said 1st layer or the 2nd layer consists of a nitride semi-conductor with a comparatively large energy band gap which contains aluminum at least uses  $\text{AlYGa}_{1-Y}\text{N}$  ( $0 < Y \leq 1$ ) desirable still more preferably.

[0010] Moreover, as for a superlattice layer, in the 1st of this invention, or the 2nd nitride semiconductor device, it is desirable to come to carry out the laminating of the 1st layer which consists of  $\text{InXGa}_{1-X}\text{N}$  ( $0 \leq X \leq 1$ ), and the 2nd layer which consists of  $\text{AlYGa}_{1-Y}\text{N}$  ( $0 \leq Y \leq 1$ ,  $X+Y=1$ ). However, it cannot be overemphasized that  $\text{AlYGa}_{1-Y}\text{N}$  and the 2nd layer have the 1st the same layer also at  $\text{InXGa}_{1-X}\text{N}$ . Since a crystalline good semi-conductor layer is obtained and the nitride semi-conductor expressed with this general formula  $\text{AlYGa}_{1-Y}\text{N}$  and  $\text{InXGa}_{1-X}\text{N}$  can form a layer with few crystal defects, the crystallinity of the whole nitride semi-conductor becomes good, and when improvement (improvement in power efficiency) and this component are an LED component or a LD component about the output of this component, it can make low  $V_f$ , a threshold current, an electrical potential difference, etc. In addition, it is still more desirable to consist of a nitride semi-conductor by which said 1st layer consists of a nitride semi-conductor expressed with formula  $\text{InXGa}_{1-X}\text{N}$  ( $0 \leq X < 1$ ) in said superlattice layer, and said 2nd layer is expressed with the 1st of this invention or the 2nd nitride semiconductor device by formula  $\text{AlYGa}_{1-Y}\text{N}$  ( $0 < Y < 1$ ) in order to form a layer with still few crystal defects.

[0011] Moreover, in the 1st of this invention, or the 2nd nitride semiconductor device, that it is 70Å or less sets desirable still more preferably the thickness of said 1st layer and the 2nd layer as 40Å or less. Moreover, that it is 5Å or more sets desirable still more preferably the thickness of said 1st layer and the 2nd layer as 10Å or more. By setting up within the limits of this, nitride semi-conductor layers, such as  $\text{AlYGa}_{1-Y}\text{N}$  ( $0 < Y \leq 1$ ) which was hard to grow up, can form with sufficient crystallinity by the former. Of the p mold nitride semi-conductor layers which are between p electrode and a barrier layer especially, at least further And/or, when using as a superlattice layer at least one of n mold nitride semi-conductor layers between the n side contact layer as a current impregnation layer in which n electrode is formed, and a barrier layer, the effectiveness by setting the 1st layer which constitutes the superlattice layer, and the 2nd layer as said thickness is large.

[0012] Moreover, in the 1st of this invention, or the 2nd nitride semiconductor device, it is desirable to have the p side contact layer for forming p electrode as said p mold nitride semi-conductor layer, and to set the thickness of this p side contact layer as 500Å or less. Thus, the resistance of the thickness direction of this p side contact layer can be lowered by forming thinly. Therefore, it is desirable to set it as 300Å or less further in this invention. Moreover, as for the minimum of the thickness of this p side contact layer, it is desirable to set it as 10Å or more so that the semi-conductor layer under this p mold contact layer may not be exposed.

[0013] When the 2nd nitride semiconductor device of this invention is equipped with the p side contact layer for forming p electrode as said p mold nitride semi-conductor layer, it is desirable that said superlattice layer is formed between said barrier layer and said p side contact layer.

[0014] moreover, the 2nd buffer layer which the 2nd nitride semiconductor device of this invention becomes from the nitride semi-conductor of 0.1 micrometers or more of thickness formed through the 1st buffer layer on the substrate further — this — it is desirable that have the n side contact layer which consists of a nitride semi-conductor which was formed on the 2nd buffer layer, and with which n mold impurity was doped, and n electrode is formed in this n side contact layer. By this, carrier concentration can form the large n side contact layer with sufficient crystallinity. In order to form the 2nd buffer layer the first half with still more sufficient crystallinity, it is desirable that the high impurity concentration of said 2nd buffer layer is low concentration as compared with said n side contact layer.

[0015] Moreover, as for either [ at least ] said 1st buffer layer or said 2nd buffer layer in the above-mentioned nitride semiconductor device, it is desirable that the nitride semi-conductor layer of 100Å or less of thickness from which a presentation differs mutually consists of a superlattice layer by which the laminating was carried out.

[0016] Moreover, when the 2nd nitride semiconductor device of this invention is equipped with the n side contact layer for forming n electrode as said n mold nitride semi-conductor layer, it is desirable that said superlattice layer is formed between said barrier layer and said n side contact layer. For example, with LD component, the layer formed between said barrier layer and said p side contact layer or between said barrier layer and said n side contact layer is a cladding layer which acts as a carrier confining layer and a lightguide layer, and can reduce a threshold current and an electrical potential difference notably by applying to these layers. the threshold current by the thing which are between a barrier layer and said p mold contact layer especially and which is applied to the cladding layer of p mold, for example, and an electrical potential difference — being low — \*\*\*\*\* is large.

[0017] Moreover, in the 2nd nitride semiconductor device of this invention, it is desirable that the impurity which determines a conductivity type as either [ at least ] said 1st layer or the 2nd layer is doped, and it is still more desirable that high impurity concentration differs in the 1st layer and 2nd layer in a superlattice layer. the [ in addition, / which is doped by the nitride semi-conductor with the impurity which determines a conductivity type / periodic table ] — the [ 4A group, 4B group, and ] — the [ 6A group and ] — p mold impurity belonging to n mold impurity belonging to 6B group and 1A, 1B group, 2A group, and 2B group is pointed out (this specification is hereafter described as n mold impurity and p mold impurity suitably.). Furthermore, when bandgap energy differs in the 1st layer and 2nd layer, it is desirable to enlarge high impurity concentration of a layer with larger bandgap energy. A high increase in power by the modulation dope at the time of forming a superlattice layer in p mold nitride semi-conductor layer side is expectable with this.

[0018] In the 2nd nitride semiconductor device of this invention, said superlattice layer can raise power efficiency according to effectiveness which was similar to HEMT mentioned later by being able to form as an n side contact layer which n electrode touches, and bandgap energy's differing mutually in the 1st layer and 2nd layer which constitute a

superlattice layer especially in this case, and enlarging high impurity concentration of a layer with larger bandgap energy. For example, it is in the inclination for threshold voltage and a threshold current to fall further, with a laser component. [0019] The nitride semiconductor device of one mode concerning this invention It has a barrier layer between n mold nitride semi-conductor layer containing the n side cladding layer, and p mold nitride semi-conductor layer containing the p side cladding layer. The 1st layer which consists of a nitride semi-conductor with which it is the nitride semiconductor device which carries out laser oscillation in this barrier layer, and said n side cladding layer has thickness 100A or less, It is the superlattice layer to which the laminating of the 2nd layer which consists of a nitride semi-conductor which a presentation differs from this 1st layer, and has thickness 100A or less was carried out. And the 4th layer which consists of a nitride semi-conductor which a presentation differs from the 3rd layer which said p side cladding layer turns into from the nitride semi-conductor which has thickness 100A or less, and this 3rd layer, and has thickness 100A or less is characterized by being the superlattice layer by which the laminating was carried out. By this, this nitride semiconductor device can make low the threshold current and threshold voltage at the time of laser oscillation. Moreover, in the layer currently formed above said p side cladding layer and this p side cladding layer in the nitride semiconductor device concerning this invention which carries out laser oscillation, it is desirable that the crest-like ridge section is formed in the resonance direction.

[0020]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the nitride semiconductor device of the gestalt of the operation which relates to this invention with reference to a drawing is explained.

Operation gestalt 1. drawing 1 is the typical sectional view showing the structure of the nitride semiconductor device of the operation gestalt 1 concerning this invention. This nitride semiconductor device As fundamental structure, on the substrate 1 which consists of sapphire The buffer layer 2 which consists of GaN, the n side contact layer 3 which consists of an Si dope n mold GaN, the barrier layer 4 which consists of InGa<sub>N</sub> of single quantum well structure, the p side cladding layer 5 which the 1st layer from which a presentation differs mutually, and the 2nd layer turn into from the superlattice layer by which the laminating was carried out. The p side contact layer 6 which consists of a Mg dope GaN is the LED component by which the laminating is carried out to order. In addition, in the nitride semiconductor device of the operation gestalt 1, the n electrode 9 is further formed in the front face of the n side contact layer 2 of p side contact layer 6 front face exposed by carrying out etching removal of a part of nitride semi-conductor layer from the p side contact layer 6 by forming the whole surface electrode 7 of translucency in the whole surface, and forming the p electrode 8 for bondings in the front face of the whole surface electrode 7 mostly.

[0021] The nitride semiconductor device of the operation gestalt 1 here For example, the 1st layer of 30A of thickness which consists of InXGa<sub>1-X</sub>N ( $0 \leq X \leq 1$ ) which doped Mg as a p mold impurity, Since the 2nd layer of 30A of thickness which consists of p mold AlYGa<sub>1-Y</sub>N ( $0 \leq Y \leq 1$ ) which similarly doped Mg with the 1st layer and takes doses as a p mold impurity is equipped with the p side cladding layer 5 which has the low resistance which consisted of superlattice layers by which the laminating was carried out, Vf can be made low. Thus, when forming a superlattice layer in a p layer side, it considers as the superlattice layer which dopes p mold impurities, such as Mg, Zn, Cd, and Be, in the 1st layer and/or the 2nd layer, and has the conductivity type of p mold. as the order of a laminating — the — the [ 1+ ] — the [ the 2+1st ... or, and ] — the [ 2+ ] — the order of the 1+2nd ... is sufficient, and a total of two or more layer laminating is carried out at least.

[0022] In addition, the 1st layer and 2nd layer which consist of a nitride semi-conductor which constitutes a superlattice layer are not necessarily limited to the layer which consists of a layer which consists of InXGa<sub>1-X</sub>N ( $0 \leq X \leq 1$ ), and AlYGa<sub>1-Y</sub>N ( $0 \leq Y \leq 1$ ), and should just consist of nitride semi-conductors with which presentations differ mutually. Moreover, even if the bandgap energy of the 1st layer and the 2nd layer differs, it does not matter even when it is the same. For example, although the bandgap energy of the 2nd layer will surely become larger than the 1st layer if the 1st layer is constituted from InXGa<sub>1-X</sub>N ( $0 \leq X \leq 1$ ) and the 2nd layer is constituted from AlYGa<sub>1-Y</sub>N ( $0 \leq Y \leq 1$ ) If the 1st layer is constituted from InXGa<sub>1-X</sub>N ( $0 \leq X \leq 1$ ) and the 2nd layer is constituted from InZAl<sub>1-Z</sub>N ( $0 \leq Z \leq 1$ ), the 1st layer and 2nd layer may have the same bandgap energy, although presentations differ. Moreover, similarly, if the 1st layer is constituted from AlYGa<sub>1-Y</sub>N ( $0 \leq Y \leq 1$ ) and the 2nd layer is constituted from InZAl<sub>1-Z</sub>N ( $0 \leq Z \leq 1$ ), although presentations differ, bandgap energy may be the same [ the 1st layer and 2nd layer ]. That is, as long as it is a superlattice layer which has the operation mentioned later, even if the bandgap energy of this invention of the 1st layer and the 2nd layer is the same, they may differ. As mentioned above, the superlattice layer said here is a large concept which says the thing of the layer by which the laminating was carried out and includes quantum well structure, without carrying out the laminating of the film extremely, and the defect accompanying a stacking fault whose presentations differ occurring, since the thickness of each class is sufficiently thin. Moreover, although this superlattice layer does not have a defect inside, since it has the distortion accompanying a stacking fault, it is also usually called a strained super lattice. In this invention, even if V group elements, such as As and P, permute a part of N (nitrogen) of the 1st layer and the 2nd layer, as long as N exists, it is contained in a nitride semi-conductor.

[0023] In this invention, if thicker than 100A, since the 1st layer and 2nd layer will serve as thickness beyond an elastic distortion limitation and a very small crack or a crystal defect will become easy to enter into this film, as for the thickness of the 1st layer which constitutes a superlattice layer, and the 2nd layer, it is desirable to set it as thickness 100A or less. Moreover, especially the minimum of the thickness of the 1st layer and the 2nd layer is not limited, but should just be one or more atomic layers. However, in order not to fully reach the critical (elastic distortion) marginal thickness of a nitride semi-conductor as the thickness of the 1st layer and the 2nd layer is 100A in this invention, but to carry out to below elastic distortion marginal thickness and to lessen the crystal defect of a nitride semi-conductor more, it is most desirable that setting it as 70A or less sets up desirable still more desirable more thinly, and it sets it as 40A - 10A. Moreover,

although you may set it as 10A or less (one atomic layer or two atomic layers) in this invention, since formation time amount and time and effort will be taken on \*\* whose number of laminatings increases, and a production process, for example when forming the cladding layer of thickness 500A or more in a superlattice layer if it is set as 10A or less, it is desirable [ the thickness of the 1st layer and the 2nd layer ] to set up more thickly than 10A.

[0024] In the case of the nitride semiconductor device of this operation gestalt 1 shown in drawing 1, p mold cladding layer 5 which consists of a superlattice layer is formed between a barrier layer 4 and the p side contact layer 6 which is a current impregnation layer, and is acting as a carrier confining layer. Thus, to make especially a superlattice layer into a carrier confining layer, it is necessary to make average bandgap energy of a superlattice layer larger than a barrier layer. With a nitride semi-conductor, since the nitride semi-conductor containing aluminum, such as AlN, AlGa<sub>N</sub>, and InAlN, has comparatively big bandgap energy, these layers are used as a carrier confining layer. However, if a thick film is grown up by the AlGa<sub>N</sub> single like before, it has the property in which a crack tends to enter into crystal growth.

[0025] Then, the nitride semi-conductor which contains aluminum at least in this invention for either [ at least ] the 1st layer of a superlattice layer, or the 2nd layer, there are few cracks by forming AlYGa<sub>1-Y</sub>N ( $0 < Y \leq 1$ ) by the thickness below an elastic distortion limitation preferably, and constituting a superlattice layer — growth formation of the crystalline good superlattice layer is carried out very much, and, moreover, bandgap energy forms the big layer. In this case, it is made hard to act also as a buffer layer at the time of growing up the 2nd layer which consists of a nitride semi-conductor containing aluminum, if the nitride semi-conductor layer which does not contain aluminum in the 1st layer is grown up by thickness 100A or less still more preferably, and to go a crack into the 2nd layer. Therefore, even if it carries out the laminating of the 1st layer and 2nd layer, a crystalline good superlattice layer without a crack can be formed. Therefore, it is desirable to use a superlattice layer as the 1st layer (the 2nd layer) which consists of InXGa<sub>1-X</sub>N ( $0 < X \leq 1$ ), and the 2nd layer (the 1st layer) which consists of AlYGa<sub>1-Y</sub>N ( $0 < Y \leq 1$ ,  $X \neq Y = 0$ ) with this operation gestalt 1.

[0026] Moreover, in the nitride semiconductor device of this operation gestalt 1, in order to adjust carrier concentration to one [ at least ] layer of the 1st layer which constitutes the p side cladding layer 5 which is a superlattice layer, and the 2nd layer, it is desirable that the impurity of p mold which sets the conductivity type of this layer as p mold is doped. Moreover, dope \*\* is also good by the concentration in which the 1st layer differs from the 2nd layer when doping the impurity of p mold in the 1st layer and 2nd layer, and when the bandgap energy of the 1st layer and the 2nd layer differs, it is still more desirable for bandgap energy to make the big layer high concentration. It is because the carrier concentration of one layer can become high substantially and the resistance of the whole superlattice layer can be reduced according to the quantum effectiveness by modulation doping, if an impurity is doped by concentration which is different in the 1st layer and the 2nd layer, respectively. Thus, in this invention, an impurity may be doped by different concentration in both the 1st layer and the 2nd layer, respectively, and an impurity may be doped in the 1st layer or the 2nd layer.

[0027] in addition — although especially this invention is not limited for the high impurity concentration doped by the 1st layer and 2nd layer to this — p mold impurity — usually — three to  $1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  — it is still more preferably desirable three to  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  and to adjust to the range of three to  $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  most preferably. It is because it is in the inclination for the crystallinity of a superlattice layer to worsen when [ than  $1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$  ] more [ the effectiveness of reducing  $V_f$  and threshold voltage will be hard to be acquired if fewer than  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ , and ]. Moreover, it is desirable to also adjust n mold impurity to the same range. The reason is the same.

[0028] However, in this invention, the impurity which determines a conductivity type as the 1st layer and 2nd layer does not need to be doped by the superlattice layer. The superlattice layer by which this impurity is not doped may be which layer between a barrier layer and a substrate, as long as it is n mold nitride semi-conductor layer field, and on the other hand, as long as it is p mold nitride semi-conductor layer field, it may be which layer between a carrier confining layer (optical confinement layer) and a barrier layer.

[0029] Since the superlattice layer constituted as mentioned above carries out, carries out the laminating of the 1st layer and the 2nd layer to the thickness below an elastic distortion limitation and forms them in it, the lattice defect of a crystal can be reduced, and it can decrease a very small crack, and can improve crystallinity fast. Consequently, since it can move without being able to make [ many ] the amount of dopes of an impurity, and being able to make the carrier concentration of n mold nitride semi-conductor layer and p mold nitride semi-conductor layer increase by this, without spoiling crystallinity not much, and scattering about these carriers according to a crystal defect, as compared with the nitride semi-conductor of p mold which does not have a superstructure, or n mold, single or more figures resistivity can be made low.

[0030] therefore — the nitride semiconductor device (LED component) of this operation gestalt 1 — the former — low —  $V_f$  can be made low by obtaining a nitride semi-conductor layer's [ \*\*\*\* ] forming p mold cladding layer 5 by the side of p difficult layers (p type semiconductor layer field (field which consists of a p mold cladding layer 5 and a p mold contact layer 6)) using a superlattice layer, and making low the resistance of this p mold cladding layer 5. That is, compared with n mold nitride semi-conductor, resistivity is usually high [ semi-conductor / p mold crystal is the semi-conductor which is very hard to be obtained, and ], even if p mold nitride semi-conductor is obtained double or more figures. Therefore, by forming the superlattice layer of p mold in a p layer side, p type layer which consisted of superlattice layers can be extremely made low resistance, and the fall of  $V_f$  appears notably. In order to obtain p mold crystal conventionally, annealing of the nitride semi-conductor layer which doped p mold impurity is carried out as a technique, and the technique which produces the nitride semi-conductor of p mold is known by removing hydrogen (patent No. 2540791). However, even if it says that the nitride semi-conductor of p mold was obtained, the resistivity has more than number omega and cm. Then, crystallinity becomes good by using this p type layer as the superlattice layer of p mold, according to our examination, the single or more figures resistivity of these p layers can be made low as compared with the former, and the effectiveness that  $V_f$  makes it fall shows up notably.

[0031] Moreover, with this operation gestalt 1, since the superlattice layer which does not have a crystalline good crack by setting the 1st layer (the 2nd layer) to  $\text{InXGa1-XN}$  ( $0 < X \leq 1$ ) preferably as mentioned above, and constituting the 2nd layer (the 1st layer) from  $\text{AlYGa1-YN}$  ( $0 < Y \leq 1$ ,  $X+Y=1$ ) can be formed, a component life can be raised.

[0032] Next, we compare and explain the conventional example and this invention which were indicated by the well-known reference containing the patent official report for which it applied before. First, we proposed JP,8-228048,A previously as a technique similar to this invention. This technique is a technique which forms the multilayers which consist of  $\text{AlGaIn}$ ,  $\text{GaIn}$ ,  $\text{InGaIn}$ , etc. as light reflex film of a laser beam in the outside of n mold cladding layer which sandwiches a barrier layer, and/or the outside (that is, side which is separated from a barrier layer) of p mold cladding layer. Since multilayers are formed as light reflex film, and the thickness of that each class is designed by  $\lambda/4n$  (the refractive index of n:nitride semi-conductor,  $\lambda$ : wavelength), this technique is very thick. Therefore, each thickness of multilayers is not the thickness below an elastic distortion limitation. Moreover, USP The laser component of the structure which inserted the barrier layer into No. 5,146,465 by the mirror which consists of  $\text{AlXGa1-XN}/\text{AlYGa1-YN}$  is indicated. In order to make  $\text{AlGaIn}/\text{AlGaIn}$  act as a mirror like [ this technique ] a last technique, thickness of each class must be thickened. It is very difficult to carry out the laminating of a many layers hard semi-conductor still like  $\text{AlGaIn}$  without a crack.

[0033] On the other hand, each thickness of the 1st and the 2nd layer is set up so that a superlattice layer may be constituted from this operation gestalt (both are preferably set to 100Å or less and below critical thickness.), and it differs from said technique. The effectiveness by the strained super lattice of the nitride semi-conductor which constitutes a superlattice layer from this invention is used, crystallinity is raised, and  $V_f$  is reduced.

[0034] Furthermore, the method of carrying out the laminating of  $\text{AlN}$  and  $\text{GaIn}$  of a thin film to JP,5-110138,A and JP,5-110139,A, and obtaining the crystal of  $\text{AlYGa1-YN}$  is indicated. In order to obtain the mixed crystal of  $\text{AlYGa1-YN}$  of a predetermined mixed-crystal ratio, this technique is a technique which carries out the laminating of  $\text{AlN}$  of dozens of Å thickness, and the  $\text{GaIn}$ , and differs from the technique of this invention. And since it does not have the barrier layer which consists of  $\text{InGaIn}$ , a crack tends to go into a superlattice layer. Moreover, the light emitting device of terrorism structure is indicated by JP,6-21511,A and the No. 268257 [ six to ] official report to the double which has the barrier layer of the multiplex quantum well structure which carried out the laminating of  $\text{GaIn}$ ,  $\text{InGaIn}$  or  $\text{InGaIn}$ , and the  $\text{InGaIn}$ . In this invention, it is the technique which makes layers other than a barrier layer multiplex quantum well structure, and differs also from this technique.

[0035] When equipping a barrier layer with a nitride semi-conductor like  $\text{InGaIn}$  which contains an indium at least with the component of this invention furthermore, the effectiveness of superlattice shows up notably. Bandgap energy is small and the  $\text{InGaIn}$  barrier layer is most suitable as a barrier layer of a nitride semiconductor device. Therefore, if the superlattice layer which serves as  $\text{InXGa1-XN}$  from  $\text{AlYGa1-YN}$  is formed as a layer which \*\*\*\* a barrier layer, since a barrier layer, a bandgap energy difference, and a refractive-index difference can be enlarged, in case this superlattice layer realizes a laser component, it operates as an optical confinement layer which was very excellent (it applies to the nitride semiconductor device of the operation gestalt 2). Since the property of a crystal is soft compared with the nitride semi-conductor containing aluminum like other  $\text{AlGaIn(s)}$ , if  $\text{InGaIn}$  makes  $\text{InGaIn}$  a barrier layer, a crack will stop furthermore easily being able to go into each whole nitride semi-conductor layer which carried out the laminating. Conversely, when a nitride semi-conductor like  $\text{AlGaIn}$  is made into a barrier layer, since the property of the crystal is hard, it is in the inclination for a crack to become easy to go into the whole crystal.

[0036] It is desirable to adjust still more preferably 500Å or less of 300Å or less of thickness of the p side contact layer to 200Å or less most preferably furthermore. because, it mentioned above — as — resistivity — several — more than ohm-cm adjusts the thickness of a certain p mold nitride semi-conductor layer to 500Å or less — further — resistivity — being low — since \*\*\*\*\* is made, the current in a threshold and an electrical potential difference fall. Moreover, the amount of the hydrogen removed from p type layer can be made [ many ], and resistivity can be reduced further.

[0037] As mentioned above, in the nitride semiconductor device of the gestalt 1 of this operation, as explained in full detail, since the 1st layer and 2nd layer constitute p mold cladding layer 5 from a superlattice layer by which the laminating was carried out, this p mold cladding layer 5 is extremely made to low resistance, and  $V_f$  of this component can be made low.

[0038] With the above operation gestalt 1, although the superlattice layer was used for the p side cladding layer 5, this invention may use the superlattice layer of p mold not only for this but for the p side contact layer 6. That is, the 1st layer which consists of  $\text{InXGa1-XN}$ , and the 2nd layer which consists of  $\text{AlYGa1-YN}$  can also use the p side contact layer 6 into which a current (electron hole) is injected as the superlattice layer of p mold by which the laminating was carried out. By using p mold contact layer 6 as a superlattice layer, when the bandgap energy of the 1st layer is smaller than the 2nd layer, it is desirable to consider as the layer which makes the outermost surface the 1st layer which bandgap energy becomes from small  $\text{InXGa1-XN}$ , and contacts p electrode, contact resistance with p electrode becomes small, and desirable OMIKKU is obtained by this. This is because the direction of the 1st layer with small bandgap energy is in the inclination for a nitride semi-conductor layer with carrier concentration higher than the 2nd layer to be easy to be obtained. Moreover, by this invention, when forming further p mold nitride semi-conductor layers other than the above-mentioned p side cladding layer and the p side contact layer in p mold nitride semi-conductor layer field, this p mold nitride semi-conductor layer may consist of superlattice layers.

[0039] With the above operation gestalt 1, although the superlattice layer was used for the p side cladding layer 5, this invention may use the superlattice layer of n mold for the n side contact layer 3 of not only p mold nitride semi-conductor layer field but n mold nitride semiconductor region. Thus, when using the n side contact layer 3 as a superlattice layer, n mold impurities, such as Si and germanium, can be doped in the 1st layer and/or 2nd layer, and the superlattice layer which has the conductivity type of n mold can be formed as an n mold contact layer 3 between a substrate 1 and a barrier



layer 4. In this case, it was checked that it is in the inclination for lateral resistance to fall if n mold contact layer 3 is especially used as the superlattice layer from which high impurity concentration differs, and for threshold voltage and a current to fall in LD.

[0040] The effectiveness in which the operation similar to the following HEMT(s) (High-Electron-Mobility-Transistor) appeared about the case where this forms in the direction of the big layer of bandgap energy the superlattice layer which doped many n mold impurities as a contact layer by the side of n layers is guessed. The 1st large layer of the band gap by which n mold impurity was doped (the 2nd layer), A band gap the 2nd layer (the 1st layer) of small undoping ((undope) the condition that the impurity is not doped below; is called undoping) in the superlattice layer which carried out the laminating. By the heterojunction interface of the layer which added n mold impurity, and the layer of undoping, the big layer side of bandgap energy depletion-izes, and an electron (two dimensional electron gas) is accumulated in the interface before and behind the thickness by the side of the small layer of bandgap energy (100Å). In order not to receive dispersion by the impurity when an electron runs since this two dimensional electron gas turns on the small layer side of bandgap energy, the mobility of the electron of a superlattice layer becomes high and it is guessed that resistivity falls.

[0041] Moreover, in this invention, when preparing the cladding layer by the side of n in n mold nitride semi-conductor layer field, it is good also considering the cladding layer by the side of this n as a superlattice layer. When forming the n side contact layer and n mold nitride semi-conductor layers other than the n side cladding layer in n mold nitride semi-conductor layer field, it is good also considering this n mold nitride semi-conductor layer as a superlattice layer. However, when preparing the nitride semi-conductor layer which consists of a superlattice layer in n mold nitride semi-conductor layer field, it cannot be overemphasized that it is desirable to make into a superstructure the n side cladding layer as a carrier confining layer or the n side contact layer 3 into which a current (electron) is injected.

[0042] thus, when boiling and preparing a superlattice layer in n mold nitride semi-conductor layer field between a barrier layer 4 and a substrate 1, it is not necessary to dope an impurity in the 1st layer and the 2nd layer which constitute a superlattice layer. It is because a nitride semi-conductor has the property in which undoping also becomes n mold. However, it is more desirable to dope n mold impurities, such as Si and germanium, in the 1st layer and the 2nd layer, and to establish the difference of high impurity concentration as mentioned above, when forming in a n layer side.

[0043] As mentioned above, crystalline improvement is mentioned like the case where the effectiveness at the time of forming a superlattice layer in n mold nitride semi-conductor layer field prepares a superlattice layer in p mold nitride semi-conductor layer field. When it explains to a detail, in the case of the nitride semiconductor device which has a heterojunction, the carrier confining layer of n mold and p mold usually consists of AlGaIn(s) with large bandgap energy rather than a barrier layer. Crystal growth is very difficult for AlGaIn, for example, when it is going to grow up it by thickness 0.5 micrometers or more by single presentation, it has the property in which a crack becomes easy to enter during a crystal. However, if the laminating of the 1st layer and the 2nd layer is carried out by the thickness below an elastic distortion limitation like this invention and it is a superlattice layer, since a crystalline good thing will be obtained only in the 1st single layer and the 2nd layer, while crystallinity has been good also as a thick superlattice layer of thickness, a cladding layer can grow the whole. Therefore, since the crystallinity of the whole nitride semi-conductor becomes good and the mobility of n mold field becomes large,  $V_f$  falls with the component which made the superlattice layer the cladding layer. Furthermore, when the impurity of Si and germanium is doped in a superlattice layer and a superlattice layer is used as a contact layer, it is thought that effectiveness similar to the above mentioned HEMT comes to show up notably, and threshold voltage and  $V_f$  can be reduced further.

[0044] Thus, since it is used as a current impregnation layer formed by the cladding layer as a carrier confining layer formed in n mold field or p mold field to which a superlattice layer \*\*\*\* a barrier layer, the lightguide layer of a barrier layer, or an electrode touching in this invention, it is desirable to adjust so that the average bandgap energy of the nitride semi-conductor which constitutes a superlattice layer may become larger than a barrier layer.

[0045] Operation gestalt 2., next the operation gestalt 2 concerning this invention are explained. Drawing 2 is the typical sectional view (cross section perpendicular to the resonance direction of a laser beam) showing the structure of the nitride semiconductor device of the operation gestalt 2 concerning this invention. This nitride semiconductor device For example, it is n mold nitride semi-conductor layer field (it consists of the n side contact layer 12, the crack prevention layer 13, an n side cladding layer 14, and an n side lightguide layer 15.) on the substrates 10, such as sapphire which makes C side a principal plane. p mold nitride semiconductor region (it consists of the cap layer 17, the p side lightguide layer 18, a p side cladding layer 19, and a p side contact layer 20.) It is the nitride semiconductor laser diode component equipped with the barrier layer 16 which consists of a \*\*\*\*(ed) nitride semi-conductor.

[0046] Here, the nitride semiconductor device of this operation gestalt 2 has set up low the threshold voltage of the nitride semiconductor device which is a LD component by forming the n side cladding layer 14 in n mold nitride semi-conductor layer field in a superlattice layer, and forming the p side cladding layer 19 in p mold nitride semiconductor region in a superlattice layer. The nitride semiconductor device of the operation gestalt 2 which starts this invention with reference to this drawing 2 below is explained to a detail.

[0047] In the nitride semiconductor device of this operation gestalt 2, first, the n side contact layer 12 is formed through a buffer layer 11 and the 2nd buffer layer 112 on a substrate 10, further, on the n side contact layer 12, the laminating of the crack prevention layer 13, the n side cladding layer 14, and the n side lightguide layer 15 is carried out, and n mold nitride semi-conductor layer field is formed. In addition, the n lateral electrode 23 which carries out ohmic contact with the n side contact layer 12 is formed in the front face of the n side contact layer 12 exposed to the both sides of the crack prevention layer 13, respectively, and the n side pad electrode for wire bonding is formed on these n lateral electrodes 23. And the barrier layer 16 which consists of a nitride semi-conductor is formed on the n side lightguide layer 15, further, on this barrier layer 16, the laminating of the cap layer 17, the p side lightguide layer 18, the p side cladding

layer 19, and the p side contact layer 20 is carried out, and p mold nitride semi-conductor layer field is formed. Furthermore, the p lateral electrode 21 which carries out ohmic contact with this p side contact layer 20 is formed on the p side contact layer 20, and the p side pad electrode for wire bonding is formed on these p lateral electrodes 21. By in addition, the upper part of the p side contact layer 20 and the p side cladding layer 19 By constituting the ridge section of the shape of a crest extended for a long time in the resonance direction, and forming this ridge section in it In a barrier layer 16, light is shut up crosswise (direction which intersects perpendicularly in the resonance direction), and laser oscillation of the resonator which resonates to the longitudinal direction of the ridge section is produced and carried out using the cleavage plane by which cleavage was carried out in the direction perpendicular to the ridge section (stripe-like electrode).

[0048] Next, each component of the nitride semiconductor device of the operation gestalt 2 is explained.

(Substrate 10) Semi-conductor substrates, such as SiC (6H, 4H, and 3C are included), ZnS and ZnO besides the sapphire which makes a principal plane the Rth page besides the sapphire which makes C side a principal plane, and the Ath page, and other insulating substrates like a spinel (MgA 12O<sub>4</sub>), GaAs, and GaN, can be used for a substrate 10.

[0049] (Buffer layer 11) A buffer layer 11 grows up AlN, GaN, AlGaIn, InGaIn, etc. at the temperature of 900 degrees C or less, and is formed in a 10A - hundreds of A thickness number. Although it forms in order that this buffer layer 11 may ease the lattice constant injustice of a substrate and a nitride semi-conductor, it is also possible to omit according to the growth approach of a nitride semi-conductor, the class of substrate, etc.

[0050] (The 2nd buffer layer 112) On said buffer layer 11, the 2nd buffer layer 112 is a layer which consists of a nitride semi-conductor of the single crystal grown up at the elevated temperature rather than said buffer layer, and has a thick film rather than a buffer layer 11. the nitride semi-conductor layer which this 2nd buffer layer 112 considers as a layer with less n mold high impurity concentration than the n side contact layer 12 grown up into a degree, or does not dope n mold impurity — if it is a GaN layer preferably, the crystallinity of the 2nd buffer layer 112 will become good. Most preferably if GaN of undoping of n mold impurity, a nitride semi-conductor with the most sufficient crystallinity will be obtained. If thickness several micrometers or more tends to constitute the n side contact layer which forms the negative electrode like before from the single nitride semi-conductor layer of high carrier concentration, it is necessary to grow up a layer with large n mold high impurity concentration. As for the layer of a thick film with large high impurity concentration, crystallinity tends to worsen. For this reason, on a bad crystalline layer, even if it grows up other nitride semi-conductors, such as a barrier layer, other layers will succeed a crystal defect and crystalline improvement cannot be desired. Then, before growing up 12 layers of the n side contact layers, carrier concentration can grow up the large n side contact layer 12 with sufficient crystallinity by growing up the 2nd crystalline good buffer layer 112 with small high impurity concentration. As for the thickness of this 2nd buffer layer 112, it is still more preferably desirable most preferably to adjust to 1 micrometers or more and 20 micrometers or less 0.5 micrometers or more 0.1 micrometers or more. When the 2nd buffer layer 112 is thinner than 0.1 micrometers, n mold contact layer 12 with large high impurity concentration must be grown up thickly, and it is in the inclination which can seldom desire crystalline improvement in the n side contact layer 12. Moreover, when thicker than 20 micrometers, it is in the inclination for a crystal defect to tend to increase in the 2nd buffer layer 112 the very thing. Moreover, it considers as the advantage into which the 2nd buffer layer 112 is grown up thickly, and improvement in heat dissipation nature is mentioned. That is, when a laser component is produced, the life of heat of breadth or the laser component which becomes empty improves by the 2nd buffer layer 112. Furthermore, the leakage light of a laser beam spreads within the 2nd buffer layer 112, and it becomes easy to obtain the laser beam near an ellipse form. In addition, the 2nd buffer layer 112 may be omitted when conductive substrates, such as GaN, SiC, and ZnO, are used for a substrate.

[0051] (n side contact layer 12) The n side contact layer 12 is a layer which acts as a contact layer which forms the negative electrode, and it is desirable to adjust to 0.2 micrometers or more and 4 micrometers or less. If thinner than 0.2, in case the negative electrode will be formed later, when it is difficult to control an etching rate to expose this layer and it makes it 4 micrometers or more on the other hand, it is in the inclination for crystallinity to worsen under the effect of an impurity. It is desirable the range of three to  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{17}/\text{cm}$  and to adjust still more preferably the range of n mold impurity doped to the nitride semi-conductor of this n side contact layer 12 to three to  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  of  $1 \times 10^{18}/\text{cm}$ . Since the ingredient of n electrode and desirable OMIKKU will become is hard to be obtained if smaller than  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ , with a laser component, a fall of a threshold current and an electrical potential difference cannot be desired, but if larger than  $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ , since the leakage current of the component itself will increase and crystallinity will also worsen, it is in the inclination for the life of a component to become short. In addition, in the n side contact layer 12, in order to make small ohmic contact resistance with the n electrode 23, it is desirable to make larger than the n cladding layer 14 concentration of the impurity which raises the carrier concentration of this n side contact layer 12. In addition, the n side contact layer 12 acts not as a contact layer but as a buffer layer, when preparing the negative electrode in a substrate at a substrate rear-face side using conductive substrates, such as GaN, SiC, and ZnO.

[0052] Moreover, one [ at least ] layer of the 2nd buffer layer 11 and the n side contact layers 12 can also be used as a superlattice layer. If it is a superlattice layer, the crystallinity of this layer will become good by leaps and bounds, and a threshold current will fall. Let the desirable n side contact layer 12 with thickness thinner than the 2nd buffer layer 11 be a superlattice layer. When the 1st layer from which bandgap energy differs mutually, and the 2nd layer make the n side contact layer 12 the superstructure which comes to carry out a laminating, by exposing the desirable small layer of bandgap energy and forming the n electrode 23, contact resistance with the n electrode 23 can be made low, and can reduce a threshold. In addition, as n mold nitride semi-conductor and an ingredient of the n electrode 23 with which desirable OMIKKU is obtained, a metal or alloys, such as aluminum, Ti, W, Si, Zn, Sn, and In, are mentioned.

[0053] Moreover, by using n mold contact layer 12 as the superlattice layer from which high impurity concentration differs,

lateral resistance can be made low according to effectiveness similar to HEMT explained in the operation gestalt 1, and the threshold voltage of LD component and a current can be made low.

[0054] (Crack prevention layer 13) The crack prevention layer 13 consists of In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N which doped Si  $5 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup>, for example, has 500Å thickness. This crack prevention layer 13 can prevent that a crack enters into the nitride semiconductor layer containing aluminum formed on it the nitride semiconductor of n mold containing In, and by growing up InGaN preferably and forming. In addition, as for this crack prevention layer 13, it is desirable to make it grow up by thickness (100Å or more and 0.5 micrometers or less). If thinner than 100Å, it will be hard to act as crack prevention as mentioned above, and when thicker than 0.5 micrometers, it is in the inclination for the crystal itself to be discolored in black. In addition, this crack prevention layer 13 may be omitted, when using the n side contact layer 12 as superlattice like this operation gestalt 1, or when using as a superlattice layer the n side cladding layer 14 grown up into a degree.

[0055] (The n side cladding layer 14 which consists of n mold superlattice) It consists of n mold Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N which doped Si  $5 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup>, and consists of the 1st layer which has 20Å thickness, and GaN of undoping, the 2nd layer which has 20Å thickness consists of a superlattice layer by which the laminating was carried out by turns, and the n side cladding layer has 0.5-micrometer thickness on the whole. This n mold cladding layer 14 can grow a good carrier confining layer by it being desirable the nitride semiconductor containing aluminum and to grow up AlGaN preferably, and growing up still more preferably 100Å or more of 2 micrometers or less of one of layers by 500Å or more and 1 micrometer or less, when it acts as a carrier confining layer and an optical confinement layer and considers as a superlattice layer. Although this n mold cladding layer 14 can also be grown up with a single nitride semiconductor, the crystalline good carrier confining layer where a crack does not have considering as a superlattice layer can be formed.

[0056] (n side lightguide layer 15) The n side lightguide layer 15 consists of an n mold GaN which doped Si  $5 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup>, and has 0.1-micrometer thickness. As for this n side lightguide layer 6, it is desirable to act as a lightguide layer of a barrier layer, to grow up GaN and InGaN, and to form, and it is usually desirable to make it grow up by 200Å - 1 micrometer thickness still more preferably 100Å - 5 micrometers. In addition, this lightguide layer 15 can also be used as a superlattice layer. When using the n side lightguide layer 15 and the n side cladding layer 14 as a superlattice layer, average bandgap energy of the nitride semiconductor layer which constitutes a superlattice layer is made larger than a barrier layer. When considering as a superlattice layer, n mold impurity may be doped in either [ at least ] the 1st layer or the 2nd layer, and undoping is sufficient. Moreover, the superlattice to which the laminating of the nitride semiconductor independent of undoping or the nitride semiconductor of undoping was carried out is sufficient as this lightguide layer 15.

[0057] (Barrier layer 16) A barrier layer 16 consists of multiplex quantum well structures (MQW) of having predetermined thickness, by consisting of In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N which doped Si in  $8 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup>, and carrying out the laminating of the well layer which has 25Å thickness, and the barrier layer which consists of In<sub>0.051</sub>Ga<sub>0.95</sub>N which doped Si  $8 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup>, and has 50Å thickness by turns. In a barrier layer 16, an impurity may be doped to both a well layer and a barrier layer, and you may dope to either. In addition, when n mold impurity is doped, it is in the inclination for a threshold to fall. Moreover, a superlattice layer is distinguished in order to surely carry out the laminating of the small well layer of bandgap energy, and the barrier layer with bandgap energy smaller than a well layer, in making a barrier layer 16 into multiplex quantum well structure in this way. 100Å or less of 70Å or less of thickness of a well layer is most preferably made into 50Å or less. 150Å or less of 100Å or less of thickness of a barrier layer is most preferably made into 70Å or less.

[0058] (p side cap layer 17) The p side cap layer 17 consists of a barrier layer 16 from p mold aluminum<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N which bandgap energy is large, for example, doped Mg  $1 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup>, for example, has 200Å thickness. Although it is desirable to use the cap layer 17 in this way with this operation gestalt 2, since this cap layer is formed in thin thickness, it is good also as an i mold with which n mold impurity was doped and the carrier was compensated with this invention. 0.1 micrometers or less of 500Å or less of thickness of the p side cap layer 17 are most preferably adjusted to 300Å or less still more preferably. It is because a crack becomes easy to enter into the p side cap layer 17 and a crystalline good nitride semiconductor layer cannot grow easily, if it is made to grow up by thickness thicker than 0.1 micrometers. Moreover, it is because it becomes impossible to pass p mold cap layer 17 from which a carrier becomes that the thickness of the p side cap layer 17 is 0.1 micrometers or more with this energy barrier according to the tunnel effect, and when passage of the carrier by this tunnel effect is taken into consideration, it is desirable to set it as 500Å or less and 300 moreÅ or less, as mentioned above.

[0059] Moreover, in order to make LD component easy to oscillate, it is desirable that the presentation ratio of aluminum uses and forms large AlGaN, and it becomes easy to oscillate LD component in the p side cap layer 17, so that this AlGaN is formed thinly. For example, if Y values are 0.2 or more Al<sub>Y</sub>Ga<sub>1-Y</sub>N(s), adjusting to 500Å or less is desirable. Although especially the minimum of the thickness of the p side cap layer 17 does not limit, it is desirable to form by thickness 10Å or more.

[0060] (p side lightguide layer 18) Bandgap energy is smaller than the p side cap layer 17, for example, consists of a p mold GaN which doped Mg  $1 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup>, and the p side lightguide layer 18 has 0.1-micrometer thickness. As for this p side lightguide layer 18, it is desirable to act as a lightguide layer of a barrier layer 16, to make it grow up by GaN and InGaN as well as the n side lightguide layer 15, and to form. Moreover, this layer acts as a desirable lightguide layer by acting also as a buffer layer at the time of growing up the p side cladding layer 19, and growing up 100Å - 5 micrometers by 200Å - 1 micrometer thickness still more preferably. Although this p side lightguide layer usually dopes p mold impurities, such as Mg, and uses them as the conductivity type of p mold, it is not necessary to dope especially an impurity. In addition, this p side lightguide layer can also be used as a superlattice layer. When considering as a superlattice layer, p mold impurity may be doped in either [ at least ] the 1st layer or the 2nd layer, and undoping is sufficient.

[0061] (p side cladding layer 19= superlattice layer) The 1st layer which the p side cladding layer 19 consists of p mold aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N which doped Mg  $1 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup>, for example, has 20Å thickness, and the 2nd layer which consists of a

p mold GaN which doped Mg  $1 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup>, and has 20Å thickness consist of a superlattice layer by which the laminating was carried out by turns. This p side cladding layer 19 acts as a carrier confining layer as well as the n side cladding layer 14, and acts as a layer for reducing the resistivity of p type layer especially. Although especially the thickness of this p side cladding layer 19 is not limited, either, it is desirable to form by 500Å or more and 1 micrometer or less still more preferably 2 micrometers or less 100Å or more.

[0062] (p side contact layer 20) On the p side cladding layer 19, the p side contact layer 20 consists of a p mold GaN which doped Mg  $2 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup>, for example, has 150Å thickness. This p side contact layer 20 can be constituted from  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) of p mold, and GaN which doped Mg as mentioned above preferably, then the p electrode 21 and the most desirable ohmic contact are acquired. It is desirable to adjust still more preferably 500Å or less of 300Å or less of thickness of the p side contact layer to 200Å or less most preferably furthermore. because, it mentioned above — as — resistivity — several — more than ohm-cm adjusts the thickness of a certain p mold nitride semi-conductor layer to 500Å or less — further — resistivity — being low — since \*\*\*\*\* is made, the current in a threshold and an electrical potential difference fall. Moreover, the amount of the hydrogen removed from p type layer can be made [ many ], and resistivity can be reduced further.

[0063] In addition, the p side contact layer 20 can also be used as a superlattice layer in this invention. the 1st layer and 2nd layer from which bandgap energy differs especially in considering as a superlattice layer — a laminating — carrying out — the — the [ 1+ ] — the [ 2+ ] — 1+ the 2+ ... as — if the laminating is carried out and it is finally made exposed [ a layer with smaller bandgap energy ], the p electrode 21 and desirable ohmic contact will be acquired. As an ingredient of the p electrode 21, nickel, Pd, nickel/Au, etc. can be mentioned, for example.

[0064] Moreover, with this operation gestalt 2, p pad electrode 22 electrically connected with the p electrode 21 through opening which the insulator layer 25 which consists of SiO<sub>2</sub> was formed in the front face of the nitride semi-conductor layer exposed between the p electrode 21 and the n electrode 23 as shown in drawing 2, and was formed in this insulator layer 25, and n pad electrode 24 connected with the n electrode 23 are formed. the surface area of the p electrode 21 with this substantial p pad electrode 22 — extending — p electrode side — wire bonding — being able to be made to carry out die bonding, on the other hand, n pad electrode 24 prevents peeling of the n electrode 23.

[0065] The nitride semiconductor device of the above operation gestalt 2 is equipped with crystalline good p mold cladding layer 19 which are the 1st layer and a superlattice layer by which the laminating was carried out by making the 2nd layer into the thickness below an elastic distortion limitation. By this, since the nitride semiconductor device of this operation gestalt 2 can make low the single or more figures resistance of the p side cladding layer 19 as compared with the p side cladding layer which does not have a superstructure, it can make threshold voltage and a current low.

[0066] Moreover, in the nitride semiconductor device of this operation gestalt 2, by touching the p side cladding layer 19 containing p mold  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ , and forming the thickness thinly with 500Å or less by using the small nitride semi-conductor of bandgap energy as the p side contact layer 20, the carrier concentration of the p side contact layer 20 becomes high substantially, p electrode and desirable OMIKKU are obtained, and the threshold current of a component and an electrical potential difference can be made low. Furthermore, since it has the 2nd buffer layer 112 before growing up the n side contact layer, the crystallinity of the nitride semi-conductor layer grown up on the 2nd buffer layer 112 becomes good, and a long lasting component can be realized. If the n side contact layer grown up on the 2nd buffer layer 112 is preferably used as superlattice, lateral resistance becomes low and the low component of threshold voltage and a threshold current can be realized.

[0067] In addition, when equipping a barrier layer 16 with a nitride semi-conductor like InGa<sub>0.5</sub>N which contains an indium at least with LD component of this operation gestalt 2, it is desirable to use the superlattice layer to which the laminating of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  and the  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  was carried out by turns as a layer (the n side cladding layer 14 and the p side cladding layer 19) which \*\*\*\*\* a barrier layer 16. By this, since the bandgap energy difference of a barrier layer 16 and this superlattice layer and a refractive-index difference can be enlarged, this superlattice layer can be operated as an optical confinement layer which was very excellent, in case a laser component is realized. Since the property of a crystal is soft compared with the nitride semi-conductor containing aluminum like other AlGa<sub>0.5</sub>N(s), if InGa<sub>0.5</sub>N makes InGa<sub>0.5</sub>N a barrier layer, a crack will stop furthermore easily being able to go into each whole nitride semi-conductor layer which carried out the laminating. The life of LD component can be lengthened by this.

[0068] In the case of the semiconductor device of the double hetero structure of having the barrier layer 16 which has quantum well structure like this operation gestalt 2, the barrier layer 16 is touched. The p side cap layer 17 which consists of a nitride semi-conductor of 0.1 micrometers or less of thickness with large bandgap energy rather than a barrier layer 16, and the p side cap layer 17 which becomes from the nitride semi-conductor which contains aluminum preferably are formed. The p side lightguide layer 18 with bandgap energy smaller than the p side cap layer 17 is formed in the location which is distant from a barrier layer from the p side cap layer 17. It is very more desirable than the p side lightguide layer 18 that a band gap forms the p side cladding layer 19 which has a superstructure containing a large nitride semi-conductor and the nitride semi-conductor which contains aluminum preferably rather than the p side lightguide layer 18 in the location distant from the barrier layer. And in order that the electron poured in from n layers since bandgap energy of the p side cap layer 17 was enlarged may be prevented in this p side cap layer 17, and may be shut up and an electron may not overflow a barrier layer, the leakage current of a component decreases.

[0069] Although the nitride semiconductor device of the above operation gestalt 2 showed structure desirable as structure of a laser component That what is necessary is just to have at least one layer of superlattice layers of n mold from the barrier layer 16 in this invention to lower n mold nitride semi-conductor layer field (n type layer side) Moreover, the superlattice layer of p mold does not specify especially a component configuration to upper p mold nitride semi-conductor layer field (p type layer side) from a barrier layer 16 that what is necessary is just to have at least one layer, either.

However, it is in the inclination most desirable when forming said superlattice layer in the p side cladding layer 19 as a carrier confining layer when forming in a p layer side, and forming in a n layer side and forming as n contact layer 12 as a current impregnation layer which the n electrode 23 touched, or an n cladding layer 14 as carrier \*\*\*\*\* reduces  $V_f$  of a component, and a threshold. Moreover, it cannot be overemphasized that the same configuration as the component of the operation gestalt 2 is applicable to an LED component (however, with an LED component, the ridge section is unnecessary).

[0070] In the nitride semiconductor device of the operation gestalt 2 constituted as mentioned above, after each class is formed, it is desirable to perform 400 degrees C or more in the ambient atmosphere which does not contain H, for example, nitrogen-gas-atmosphere mind, and to perform annealing at 700 degrees C, and since each class of p mold nitride semi-conductor layer field can be further formed into low resistance by this, threshold voltage can be further made low by this.

[0071] moreover, in the nitride semiconductor device of the operation gestalt 2, the p electrode 21 which consists of nickel and Au is formed in the front face of the p side contact layer 12 in the shape of a stripe, and the n side contact layer is exposed to bilateral symmetry to this p electrode 21 — making — that n side contact layer front face — the n electrode 23 is mostly formed in the whole surface. Thus, the structure of forming the n electrode 23 in bilateral symmetry at the both sides of the p electrode 21 when an insulating substrate is used is very advantageous when making threshold voltage low.

[0072] In addition, with this operation gestalt 2, the dielectric multilayers which become the cleavage plane (resonator side) which carried out cleavage in the direction perpendicular to the ridge section (stripe-like electrode) from SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> may be formed.

[0073] Thus, since it is used as a current impregnation layer formed by the cladding layer as a carrier confining layer formed in n mold field or p mold field to which a superlattice layer \*\*\*\* a barrier layer, the lightguide layer of a barrier layer, or an electrode touching in this invention, it is desirable to adjust so that the average bandgap energy of the nitride semi-conductor which constitutes a superlattice layer may become larger than a barrier layer.

[0074]

[Example] Hereafter, in an example, this invention is explained in full detail.

The example 1 concerning [example 1] this invention is an example of creation of the nitride semiconductor device (LD component) shown in drawing 2, and is produced in the following procedures. First, after setting the substrate 10 which consists of sapphire (C side) in a reaction container and permuting the inside of a container enough from hydrogen, hydrogen raises the temperature of a substrate to 1050 degrees C with a sink, and a substrate is cleaned. Then, temperature is lowered to 510 degrees C, hydrogen is used for carrier gas, ammonia (NH<sub>3</sub>) and TMG (trimethylgallium) are used for material gas, and the 1st buffer layer 11 which consists of GaN on a substrate 10 is grown up by about 200Å thickness.

[0075] Only TMG is stopped after buffer layer 11 growth, and temperature is raised to 1050 degrees C. If it becomes 1050 degrees C, similarly TMG and ammonia gas will be used for material gas, and the 2nd buffer layer 112 which consists of undoping GaN of  $1 \times 10^{18}$ /of carrier concentration cm<sup>3</sup> will be grown up by 5-micrometer thickness. although the 2nd buffer layer can be constituted from In<sub>X</sub>Al<sub>Y</sub>Ga<sub>1-X-Y</sub>N (0 ≤ X, 0 ≤ Y, X+Y ≤ 1) and especially the presentation is not what is asked — desirable — undoping — aluminum (Y value) — 0.1 or less Al<sub>Y</sub>Ga<sub>1-Y</sub>N — it is most preferably referred to as GaN of undoping. Then, silane gas (SiH<sub>4</sub>) is used for TMG, ammonia, and impurity gas at 1050 degrees C, and the n side contact layer 12 which consists of an n mold GaN which doped Si  $1 \times 10^{19}$ /cm<sup>3</sup> is grown up by 1-micrometer thickness. When this n side contact layer 12 is formed by superlattice, it is still more desirable.

[0076] Next, temperature is made into 800 degrees C, silane gas is used for material gas at TMG, TMI (trimethylindium), ammonia, and impurity gas, and the crack prevention layer 13 which consists of In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N which doped Si  $5 \times 10^{18}$ /cm<sup>3</sup> is grown up by 500Å thickness. And the 2nd layer which temperature is made into 1050 degrees C, and the 1st layer which consists of n mold aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N which doped Si  $5 \times 10^{18}$ /cm<sup>3</sup> is grown up by 20Å thickness using TMA, TMG, ammonia, and silane gas, then consists TMA and a silane of a stop and undoping GaN is grown up by 20Å thickness. And this actuation is repeated 100 times, respectively and the n side cladding layer 14 which consists of a superlattice layer of the 0.4 micrometers of the total thickness is grown up.

[0077] Then, the n side lightguide layer 15 which consists of an n mold GaN which doped Si  $5 \times 10^{18}$ /cm<sup>3</sup> at 1050 degrees C is grown up by 0.1-micrometer thickness. Next, a barrier layer 16 is grown up using TMG, TMI, ammonia, and a silane. A barrier layer 16 holds temperature at 800 degrees C, and grows up the well layer which consists of In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N which doped Si in  $8 \times 10^{18}$ /cm<sup>3</sup> first by 25Å thickness. Next, the barrier layer which consists of In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N which doped Si  $8 \times 10^{18}$ /cm<sup>3</sup> at the same temperature only by changing the mole ratio of TMI is grown up by 50Å thickness. This actuation is repeated twice and the barrier layer 16 of the multiplex quantum well structure (MQW) of the 175Å of the total thickness which carried out the laminating of the well layer to the last is grown up.

[0078] Next, temperature is raised to 1050 degrees C, Cp2Mg (magnesium cyclopentadienyl) is used for material gas at TMG, TMA, ammonia, and impurity gas, and the p side cap layer 17 which consists of p mold aluminum<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N to which bandgap energy was large and doped Mg  $1 \times 10^{20}$ /cm<sup>3</sup> rather than the barrier layer is grown up by 300Å thickness. Then, the p side lightguide layer 18 which bandgap energy becomes from the p mold GaN smaller than the p side cap layer 17 which doped Mg  $1 \times 10^{20}$ /cm<sup>3</sup> at 1050 degrees C is grown up by 0.1-micrometer thickness.

[0079] Then, the 1st layer which consists of p mold aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N which doped Mg  $1 \times 10^{20}$ /cm<sup>3</sup> at 1050 degrees C is grown up by 20Å thickness using TMA, TMG, ammonia, and Cp2Mg, and the 2nd layer which consists of a p mold GaN which doped a stop and Mg only for TMA  $1 \times 10^{20}$ /cm<sup>3</sup> continuously is grown up by 20Å thickness. And this actuation is repeated 100 times, respectively and the p side cladding layer 19 which consists of a superlattice layer of the 0.4

micrometers of the total thickness is formed. The p side contact layer 20 which finally consists of a p mold GaN which doped Mg  $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  on the p side cladding layer 19 at 1050 degrees C is grown up by 150A thickness.

[0080] Temperature is lowered to a room temperature after reaction termination, annealing is further performed for a wafer at 700 degrees C in a reaction container among nitrogen-gas-atmosphere mind, and p type layer is further formed into low resistance. As a wafer is picked out from a reaction container after annealing and it is shown in drawing 2, the p side contact layer 20 of the maximum upper layer and the p side cladding layer 19 are etched with an RIE system, and it considers as the ridge configuration which has stripe width of face of 4 micrometers.

[0081] Next, as a mask is formed in a ridge front face and it is shown in drawing 2, it is made bilateral symmetry to a stripe-like ridge, and the front face of the n side contact layer 12 is exposed. Next, the p electrode 21 of the stripe ridge outermost surface of the p side contact layer 20 which becomes the whole surface from nickel and Au is formed mostly. the n electrode 23 which consists of Ti and aluminum on the other hand — the stripe-like n side contact layer 3 — it forms in the whole surface mostly.

[0082] Next, as shown in drawing 2, the insulator layer 25 which consists of SiO<sub>2</sub> is formed in the front face of the nitride semi-conductor layer exposed between the p electrode 21 and the n electrode 23, and p pad electrode 22 electrically connected with the p electrode 21 through this insulator layer 25 and n pad electrode 24 are formed. The wafer which formed n electrode and p electrode as mentioned above is transported to polish equipment, the silicon on sapphire 1 of the side which does not form the nitride semi-conductor is wrapped using a diamond abrasive material, and thickness of a substrate is set to 50 micrometers. After wrapping, it polishes 1 micrometer by the still finer abrasive material, and a substrate front face is made into the shape of a mirror plane.

[0083] The scribe after substrate polish and of the polished surface side is carried out, cleavage is carried out to the shape of a bar in a direction perpendicular to a stripe-like electrode, and a resonator is produced to a cleavage plane. The dielectric multilayers which consist of SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> were formed in the resonator side, and finally, in the direction parallel to p electrode, the bar was cut and it considered as the laser chip. Next, when the chip was installed in the heat sink by face up (condition which the substrate and the heat sink countered), wire bonding of each electrode was carried out and laser oscillation was tried at the room temperature, in the room temperature, by threshold-current consistency 2.9 kA/cm<sup>2</sup> and threshold voltage 4.4V, continuous oscillation with an oscillation wavelength of 405nm was checked, and the life of 50 hours or more was shown.

[0084] On the other hand, do not grow up the 2nd buffer layer 112 and Si grows up 5 micrometers of the n side contact layers 12 by the n mold GaN single doped  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  further. (Example 1 of a comparison) It is single 0.8 N 0.2 Ga, and 0.4 micrometers is grown up. the n mold aluminum which doped Si for the n side cladding layer 14  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  — It is single 0.8 N 0.2 Ga, and 0.4 micrometers is grown up. the p mold aluminum which doped Mg for the p side cladding layer 19  $1 \times 10^{20} / \text{m}^3$  — 0.2 micrometers of single p molds GaN which furthermore doped Mg for the p side contact layer 20  $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  were grown up, and also the laser component was obtained like the example 1. That is, as a basic configuration, as shown in Table 1, it constitutes.

[0085]

[Table 1]

基板	10・・・サファイア	
バッファ層	11・・・GaN	200 Å
nコンタクト層	12・・・Siドープn型Ga <sub>0.95</sub> N Si: $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$	5 μm
クラック防止層	13・・・Siドープn型Al <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> N Si: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	500 Å
nクラッド層	14・・・Siドープn型Al <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N Si: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	0.5 μm
n光ガイド層	15・・・Siドープn型Ga <sub>0.95</sub> N Si: $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	0.1 μm
活性層(MQW)	16・・・SiドープIn <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N	25 Å
	(総膜厚175 Å) SiドープIn <sub>0.01</sub> Ga <sub>0.95</sub> N Si: $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$	50 Å
キャップ層	17・・・Mgドープp型Al <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> N Mg: $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$	300 Å
p光ガイド層	18・・・Mgドープp型Ga <sub>0.95</sub> N Mg: $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$	0.1 μm
pクラッド層	19・・・Mgドープp型Al <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N Mg: $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$	0.5 μm
pコンタクト層	20・・・Mgドープp型Ga <sub>0.95</sub> N Mg: $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$	0.2 μm

[0086] Thus, although, as for the laser component of the constituted example of a comparison, continuous oscillation was checked by 2 the threshold-current consistency of 7kA/cm, threshold voltage has gone out in those or more [ 8.0 ] with V, and several minutes.

[0087] In the [example 2] example 1, the 2nd layer which the 1st layer which consists the n side contact layer 12 of n mold aluminum0.05Ga0.95N which doped Si  $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  is grown up by 30A thickness, then consists of GaN of undoping is grown up by 30A thickness, this is repeated, and it considers as the superstructure of the 1.2 micrometers of the total thickness. When considered as the laser component which has the same structure as an example 1, it is threshold-current consistency 2.7 kA/cm<sup>2</sup> and threshold voltage 4.2V, and, as for the other structure, the life also showed 60 hours or more.

[0088] In the [example 3] example 2, in the superlattice which constitutes the n side contact layer 12, when the laser component which the 2nd layer is set to GaN which doped Si  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ , and also has the same structure as an example 2 was produced, the laser component which has a property almost equivalent to an example 2 was obtained.

[0089] In the [example 4] example 1, although it went up to threshold-current consistency 2.9 kA/cm<sup>2</sup> and threshold voltage 4.5V when the laser component which it is grown up 4 micrometers, using the 2nd buffer layer 112 as GaN which doped Si  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ , and also has the same structure as an example 1 was produced, the life showed 50 hours or more.

[0090] In the [example 5] example 1, the 2nd layer which consists of GaN which the 1st layer which consists the n side contact layer 12 of n mold aluminum0.2Ga0.8N which doped Si  $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  was grown up by 60A thickness, then doped Si  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  is grown up by 40A thickness, this is repeated successively, and it considers as the superstructure of the 2 micrometers of the total thickness. and the n mold aluminum which doped Si for the n side cladding layer 14  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  — it is single 0.8 N 0.2 Ga, and 0.4 micrometers is grown up. When considered as the laser component which has the same structure as an example 1, it is threshold-current consistency 3.2 kA/cm<sup>2</sup> and threshold voltage 4.8V, and, as for the other structure, the life also showed 30 hours or more.

[0091] As compared with an example 1, following (1) differs from (2), and also the [example 6] example 6 is constituted like an example 1.

(1) Stop only TMG after buffer layer 11 growth, and raise temperature to 1050 degrees C. If it becomes 1050 degrees C, the 2nd layer which TMA, TMG, ammonia, and a silane are used for material gas, and the 1st layer which consists of n mold aluminum0.2Ga0.8N which doped Si  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  is grown up by 60A thickness, then consists of GaN of a silane and stop undoping of TMA will be grown up by 40A thickness. and 1st layer + 2nd layer + 1st layer + 2nd layer + ... as — a superlattice layer is constituted, respectively the 1st layer is made into 500 layers, the laminating of the 2nd layer is made alternately [ 500 layer ], and the n side contact layer 12 which consists of superlattice of the 5 micrometers of the total



thickness is formed.

(2) Next, grow up the crack prevention layer 13 which consists of  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  which doped Si  $5 \times 10^{18} \text{--}/\text{cm}^3$  like an example 1 by 500Å thickness. And temperature is made into 1050 degrees C and the n side cladding layer 14 which consists of n mold aluminum $0.2\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  which doped Si  $5 \times 10^{18} \text{--}/\text{cm}^3$  is grown up by 0.5-micrometer thickness using TMA, TMG, ammonia, and a silane. Let tops be the laser component of an example 1, and the laser component which has the same structure from the next n side cladding layer 14. That is, in the basic structure of Table 1, the laser component which uses the n side contact layer 12 and the p side cladding layer 19 as superlattice, and makes 150Å thickness of the p side contact layer 20 like an example 1 is produced. It was threshold-current consistency 3.2 kA/cm<sup>2</sup> and threshold voltage 4.8V, and 405nm continuous oscillation was checked and, as for this laser component, the life also showed 30 hours or more.

[0092] Furthermore, when a sequential change of the thickness of the p side contact layer of LD component of the structure of an example 6 is made, the relation between the thickness of the p side contact layer and the threshold voltage of LD component is shown in drawing 3. As for this, the p side contact layer shows the threshold voltage in A (10Å or less), B (10Å), C (30Å), D (150Å, this example), E (500Å), F (0.2 micrometers), G (0.5 micrometers), and H (0.8 micrometers) sequentially from the left. As shown in this drawing, when the thickness of the p side contact layer exceeds 500Å, threshold voltage is in the inclination to go up gradually. As for the thickness of the p side contact layer 20, it is still more preferably desirable that it is 300Å or less 500Å or less. In addition, if it becomes 10Å or less (2 atomic layers about 1 atomic layer, near), since the front face of the lower p side cladding layer 19 will be exposed, contact resistance of p electrode worsens and threshold voltage tends to rise. However, with LD component of this invention, since it has the superlattice layer, threshold voltage is falling sharply compared with the thing of the example of a comparison.

[0093] (Example 2 of a comparison) In the laser component of the configuration of Table 1, the 2nd layer which the 1st layer which consists of n mold aluminum $0.2\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  which doped Si for the n side cladding layer 14  $1 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$  is grown up by 180Å thickness, and consists of GaN of undoping continuously is grown up by 120Å thickness, and let it be multilayers of the 0.6 micrometers of the total thickness. That is, when it constituted from structure which thickened thickness of the 1st layer and the 2nd layer and the laser component was produced, continuous oscillation was checked by threshold-current consistency 6.5 kA/cm<sup>2</sup>, and threshold voltage was 7.5V. In addition, this laser component has gone out in several minutes.

[0094] In the [example 7] example 6, it considers as the superstructure of the 0.5 micrometers of the total thickness which carried out the laminating of the 1st layer which consists of aluminum $0.2\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  which doped Mg for the p side cladding layer 19  $1 \times 10^{20} \text{--}/\text{cm}^3$ , and 60Å, and the p mold GaN which doped Mg  $1 \times 10^{20} \text{--}/\text{cm}^3$  and the 2nd layer which consists of 40Å, and also the same laser component as an example 6 is produced. That is, although threshold voltage suited the inclination to go up a little as compared with the laser component of an example 6 when the thickness of the superlattice layer which constitutes the p side cladding layer 19 of an example 6 was changed and also the laser component was produced similarly, the life of 20 hours or more was shown.

[0095] In the [example 8] example 7, it considers as the superstructure of the 0.5 micrometers of the total thickness which carried out the laminating of the 1st layer which consists of n mold aluminum $0.2\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  which doped Si for the n side cladding layer 14  $1 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$  further, and 60Å, and the n mold GaN which doped Si  $1 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$  and the 2nd layer which consists of 40Å, and also the same laser component as an example 7 be produced That is, the laser component which used the n side cladding layer as superlattice in addition to the n side contact layer 12 of an example 6 and the p side cladding layer 19 had the property almost equivalent to an example 6.

[0096] In the [example 9] example 1, without growing up the 2nd buffer layer 112, as shown in Table 1, 5 micrometers of n mold GaN layers which doped Si  $1 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$  as an n side contact layer 12 directly on the 1st buffer layer 11 are grown up. Others are taken as the laser component which has the same structure as an example 1. That is, in the basic structure of Table 1, it considers as the superstructure of the 0.4 micrometers of the total thickness which comes to carry out the laminating of the 1st layer which consists the n side cladding layer 14 of 20Å Si ( $1 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$ ) dope n mold aluminum $0.2\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ , and the 2nd layer which consists of 20Å undoping GaN. It considers as the superstructure of the 0.4 micrometers of the total thickness which comes to carry out the laminating of the 1st layer which furthermore consists the p side cladding layer 19 of 20Å Mg ( $1 \times 10^{20} \text{--}/\text{cm}^3$ ) dope p mold aluminum $0.2\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ , and the 2nd layer which consists of a 20Å Mg ( $1 \times 10^{20} \text{--}/\text{cm}^3$ ) dope p mold GaN. When the p side contact layer 20 was used as the 150Å Mg ( $2 \times 10^{20} \text{--}/\text{cm}^3$ ) dope p mold GaN like an example 1 further again, by threshold-current consistency 3.3 kA/cm<sup>2</sup>, 405nm continuous oscillation was checked and, as for threshold voltage, 5.0V and a life also showed 30 hours or more.

[0097] In the [example 10] example 9, the 2nd layer which constitutes the superlattice of the n side cladding layer 14 is set to GaN which doped Si  $1 \times 10^{17} \text{--}/\text{cm}^3$ , and also the same laser component as an example 9 is produced. That is, the laser component which many Si was doped in the layer with larger bandgap energy, and also was produced like the example 9 in it showed the property almost equivalent to an example 9.

[0098] In the [example 11] example 9, the 2nd layer which constitutes the n side cladding layer 14 is set to n mold  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  which doped Si  $1 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$ , and also a laser component is produced similarly. That is, the laser component which set to InGa<sub>N</sub> the presentation of the 2nd layer which constitutes the superlattice of the n side cladding layer 14, and high impurity concentration of the 1st layer and the 2nd layer was made the same, and also was produced like the example 9 showed the property almost equivalent to an example 9.

[0099] In the [example 12] example 9, thickness of the 1st layer (Si:  $1 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$  dope aluminum $0.2\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ ) which constitutes the n side cladding layer 14 is made into 60Å, and the 2nd layer is set to 40Å GaN which doped Si  $1 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$ , and is made into the superstructure of the 0.5 micrometers of the total thickness. Thickness of the 1st layer (Mg:  $1 \times 10^{20} \text{--}/\text{cm}^3$  dope aluminum $0.2\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ ) which furthermore constitutes the p side cladding layer 19 is made into 60Å,



thickness of the 2nd layer (Mg:1x10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup> dope; GaN) is made into 40Å, and it considers as the superstructure of the 0.5 micrometers of the total thickness. That is, the amount of dopes of the 1st layer and the 2nd layer which constitutes the n side cladding layer 14 is made the same. Change thickness, and change the thickness of the 1st layer and the 2nd layer which constitute the p side cladding layer 19, and also When the laser component was produced like the example 9, by threshold-current consistency 3.4 kA/cm<sup>2</sup>, 405nm continuous oscillation was checked and, as for threshold voltage, 5.2V and a life also showed 20 hours or more.

[0100] In the [example 13] example 11, when the laser component which Si concentration of the 2nd layer (GaN) which constitutes the n side cladding layer 14 is set to 1x10<sup>17</sup>-/cm<sup>3</sup>, and also has the same structure as an example 11 was produced, the laser component which has a property almost equivalent to an example 11 was producible.

[0101] In the [example 14] example 11, when the laser component which the 2nd layer (GaN) which constitutes the n side cladding layer 14 is considered as undoping, and also has the same structure as an example 11 was produced, the laser component which has a property almost equivalent to an example 11 was producible.

[0102] the n mold aluminum which doped Si for the n side cladding layer 14 1x10<sup>19</sup>-/cm<sup>3</sup> in the [example 15] example 9 - it is single 0.8 N 0.2 Ga, and 0.4 micrometers is grown up and also a laser component is produced similarly. In the basic structure of Table 1 Mg 1x10<sup>20</sup>-/cm<sup>3</sup> like an example 1 only for the p side cladding layer 19 That is, the 1st layer and 20Å which consists of doped p mold aluminum0.2Ga0.8Ns, It considers as the superstructure of the 0.4 micrometers of the total thickness which consists of the 20Å of the 2nd layer which consists of a p mold GaN which doped Mg 1x10<sup>19</sup>-/cm<sup>3</sup>. When the p side contact layer 20 is used as the 150Å Mg (2x10<sup>20</sup>-/cm<sup>3</sup>) dope p mold GaN like an example 1, similarly furthermore, by threshold-current consistency 3.4 kA/cm<sup>2</sup> 405nm continuous oscillation was checked, threshold voltage showed 5.1V and the life showed 20 hours or more.

[0103] Although threshold voltage suited the inclination to go up a little when made the 1st layer (aluminum0.2Ga0.8N) into 60Å for the thickness of the superlattice layer which constitutes the p side cladding layer 19 in the [example 16] example 15, and it carried out the laminating, having used the 2nd layer (GaN) as 40Å, and it considered as the 0.5 micrometers of the total thickness and also the same laser component as an example 14 was obtained, there were 20 hours or more of lives.

[0104] the p mold aluminum which doped Mg for the p side cladding layer 19 1x10<sup>20</sup>-/cm<sup>3</sup> in the [example 17] example 9 - it is single 0.8 N 0.2 Ga, and 0.4 micrometers is grown up and also a laser component is produced similarly. In the basic structure of Table 1 Si 1x10<sup>19</sup>-/cm<sup>3</sup> like an example 1 only for the n side cladding layer 14 That is, the 1st layer and 20Å which consists of doped n mold aluminum0.2Ga0.8Ns, It considers as the superstructure of the 0.4 micrometers of the total thickness which consists of the 20Å of the 2nd layer which consists of GaN of undoping. When the p side contact layer 20 is used as the 150Å Mg (2x10<sup>20</sup>-/cm<sup>3</sup>) dope p mold GaN like an example 1, similarly furthermore, by threshold-current consistency 3.5 kA/cm<sup>2</sup> 405nm continuous oscillation was checked, threshold voltage showed 5.4V and the life showed 10 hours or more.

[0105] In the [example 18] example 17, the 1st layer (aluminum0.2Ga0.8N) is made into 70Å for the thickness of the superlattice layer which constitutes the n side cladding layer 14. Although threshold voltage suited the inclination to go up a little, compared with the example 16 when carried out the laminating of the 2nd layer as In0.01Ga0.99N which doped Si 1x10<sup>19</sup>-/cm<sup>3</sup>, and 70Å, and it was made into the 0.49 micrometers of the total thickness and also the same laser component as an example 17 was obtained The laser component which similarly has the life of 10 hours or more was obtained.

[0106] In the [example 19] example 17, the 1st layer (aluminum0.2Ga0.8N) is made into 60Å for the thickness of the superlattice layer which constitutes the n side cladding layer 14. Although threshold voltage suited the inclination to go up a little, compared with the example 17 when it carried out the laminating, having used the 2nd layer (undoping GaN) as 40Å, and it considered as the 0.5 micrometers of the total thickness and also the same laser component as an example 16 was obtained The laser component which similarly has the life of 10 hours or more was obtained.

[0107] In the [example 20] example 9, it considers as the 2nd layer which consists of the 1st layer which consists of GaN of undoping of the n side lightguide layer 15 further, 20Å, and In0.1Ga0.9N of undoping, and the superlattice layer of the 800Å of the total thickness which comes to carry out the laminating of 20. it - in addition, the p side lightguide layer 18 is also made into the superstructure of the 800Å of the total thickness which comes to carry out the laminating of the 1st layer which consists of GaN of undoping, 20Å, and the 2nd layer which consists of In0.1Ga0.9N of undoping, and the 20Å. That is, in the basic structure of Table 1, the n side cladding layer 14, the n side lightguide layer 15, the p side lightguide layer 18, and the p side cladding layer 19 are made into a superstructure. When the p side contact layer 20 is used as the 150Å Mg (2x10<sup>20</sup>-/cm<sup>3</sup>) dope p mold GaN like an example 1 further again, by threshold-current consistency 2.9 kA/cm<sup>2</sup> 405nm continuous oscillation was checked and, as for threshold voltage, 4.4V and a life also showed 60 hours or more.

[0108] [Example 21] this example is explained based on the LED component of drawing 1. The buffer layer 2 which consists of GaN on the substrate 1 which consists of sapphire like an example 1 is grown up by 200Å thickness, the contact layer which consists of an n mold GaN which subsequently doped Si 1x10<sup>19</sup>-/cm<sup>3</sup> is grown up by 5-micrometer thickness, and the barrier layer 4 which consists of single quantum well structure of 30Å of thickness which consists of In0.4Ga0.6N next is grown up.

[0109] Next, the 1st layer which consists of p mold aluminum0.2Ga0.8N which doped Mg 1x10<sup>20</sup>-/cm<sup>3</sup> like an example 1 is grown up by 20Å thickness. (p side superlattice layer) Then, the 2nd layer which consists of a p mold GaN which doped Mg 1x10<sup>19</sup>-/cm<sup>3</sup> is grown up by 20Å thickness, and the p side cladding layer 5 which consists of superlattice of the 0.4 micrometers of the total thickness is grown up. Although especially the thickness of this p side cladding layer 4 is not limited, either, it is desirable to make it grow up by 500Å or more and 1 micrometer or less still more preferably 2 micrometers or less 100Å or more.

[0110] Next, the p mold GaN layer which doped Mg  $1 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup> on this p side cladding layer 5 is grown up by 0.5-micrometer thickness. After growth, after picking out a wafer from a reaction container and performing annealing like an example 1, the front face of the n side contact layer 3 which should perform etching from the p side contact layer 6 side, and should form the n electrode 9 is exposed. Mostly, the p electrode 7 of the translucency of the p side contact layer 6 of the maximum upper layer which becomes the whole surface from nickel-Au of 200Å of thickness is formed, and p pad electrode 8 which consists of Au is formed on the whole surface electrode 7. The n electrode 9 which consists of Ti-aluminum is formed also in the front face of the exposed n side contact layer.

[0111] When the wafer which formed the electrode as mentioned above was divided into the chip of 350-micrometer angle and having been considered as the LED component, 520nm green luminescence was shown in If20mA, and Vf was 3.2V. On the other hand, Vf of the LED component which constituted the p side cladding layer 5 from single Mg dope aluminum0.2Ga0.8N was 3.4V. Furthermore, as for electrostatic pressure-proofing, the direction of this example had electrostatic pressure-proofing of more than twice.

[0112] In the [example 22] example 21, thickness of the 1st layer is made into 50Å for the superlattice layer which constitutes the p side cladding layer 5. Mg  $1 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup> for the 2nd layer as doped GaN and 50Å When carried out the 25-layer laminating, respectively, and it considered as the superlattice of the 0.25 micrometers of the total thickness and also the LED component was created similarly, the LED component which has a property almost equivalent to an example 21 was obtained.

[0113] In the [example 23] example 21, although Vf was 3.4V when use as the 100Å of the 1st layer thickness of the superlattice layer which constitutes the p side cladding layer 5, and the 2nd layer was used as the superlattice of the 0.25 micrometers of the total thickness as 70Å thickness and also the LED component was created similarly, electrostatic pressure-proofing was superior to the conventional thing 20% or more.

[0114] In the [example 24] example 21, in case the n side contact layer 3 is grown up, the 2nd layer which consists of GaN of 60Å and undoping the 1st layer which consists of n mold aluminum0.2Ga0.8N which doped Si  $2 \times 10^{19}$  /cm<sup>3</sup> is grown up by 40Å thickness, respectively the 1st layer is made into 500 layers, the laminating of the 2nd layer is made alternately [ 500 layer ], and it considers as the superlattice of the 5 micrometers of the total thickness. When others produced the LED component like the example 12, similarly, Vf fell to 3.1V in If20mA, the comparison comparison was carried out at the former and electrostatic pressure-proofing improved to 2.5 or more times.

[0115] In the [example 25] example 23, make into 60Å thickness of the 1st layer (aluminum0.2Ga0.8N) of the superlattice which constitutes the p side cladding layer 5, and thickness of the 2nd layer is made into 40Å. When the LED component which carry out a laminating alternately [ 25 layer ], respectively, and it considers as the 0.3 micrometers of the total thickness, and also has the same structure was produced, Vf was 3.2V and electrostatic pressure-proofing was more than twice over the past.

[0116] [Example 26] this example is explained based on the laser component shown in drawing 4. Although it is a sectional view at the time of drawing 4 as well as drawing 2 cutting a component in a direction perpendicular to the resonance direction of a laser beam, a different place from drawing 2 is located in the place which uses the substrate 101 which turns into a substrate 10 from GaN, and the place into which the 3rd buffer layer 113 which doped n mold impurity is grown up, without growing up the 2nd buffer layer 112. The laser component shown in this drawing 4 is obtained by the following approaches.

[0117] first — a silicon-on-sapphire top — MOVPE — law or HVPE — after growing up the GaN layer which doped Si  $5 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup> by 300 micrometers in thickness using law, silicon on sapphire is removed and the Si dope GaN substrate 101 with a thickness of 300 micrometers is produced. The GaN substrate 101 is obtained by removing the different-species substrate, after making it grow up by thickness 100 micrometers or more on a different substrate in this way from a nitride semi-conductor. Undoping is sufficient as the GaN substrate 101, and it may dope and produce n mold impurity. If it usually dopes an impurity in the range of three to  $1 \times 10^{19}$  /cm<sup>3</sup> of  $1 \times 10^{17}$  /cm in doping n mold impurity, a crystalline good GaN substrate will be obtained.

[0118] Temperature is made into 1050 degrees C after GaN substrate 101 production, and the 3rd buffer layer 113 which consists of an n mold GaN which doped Si  $3 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup> is grown up by 3-micrometer thickness. In addition, although the 3rd buffer layer 113 is a layer which is equivalent to the n side contact layer 14 in drawing 1 and drawing 2, since it is not a layer which forms an electrode, it does not call it a contact layer here, but calls it the 3rd buffer layer 113. In addition, although the 1st buffer layer grown up at low temperature like an example 1 between the GaN substrate 101 and the 3rd buffer layer 113 may be grown up, when growing up the 1st buffer layer, it is desirable to make it 300Å or less.

[0119] Next, the crack prevention layer 13 which consists of In0.1Ga0.9N which doped Si  $5 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup> like the example 1 on the 3rd buffer layer 113 is grown up by 500Å thickness. Next, the n side cladding layer 14 which carried out the laminating of the 20Å of the 2nd layer which becomes the 1st layer which consists of n mold aluminum0.2Ga0.8N which doped Si  $5 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup>, and 20Å from GaN which doped Si  $5 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup> alternately 100 times and which consists of a superlattice layer of the 0.4 micrometers of the total thickness is grown up. Next, the n side lightguide layer 15 which consists of an n mold GaN which doped Si  $5 \times 10^{18}$  /cm<sup>3</sup> like an example 1 is grown up by 0.1-micrometer thickness.

[0120] Next, 50Å of barrier layers which become the well layer which consists of undoping In0.2Ga0.8N, and 25Å from Undoping GaN is grown up, and the barrier layer 16 of the multiplex quantum well structure (MQW) of the 175Å of the total thickness which finally carried out the laminating of the well layer is grown up twice repeatedly by turns.

[0121] Next, the p side cap layer 17 which consists of p mold aluminum0.3Ga0.7N which doped Mg  $1 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup> like an example 1 is grown up by 300Å thickness, and the p side lightguide layer 18 which consists of a p mold GaN which doped Mg  $1 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup> is grown up by 0.1-micrometer thickness.

[0122] It is made to be the same as that of an example 1. Mg  $1 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup> Next, the 1st layer and 20Å which consists of

doped p mold aluminum  $0.2\text{Ga}0.8\text{Ns}$ ,  $\text{Mg } 1 \times 10^{20} \text{--}/\text{cm}^3$  The 2nd layer which consists of a doped p mold GaN, The p side cladding layer 19 which consists of a superlattice layer of the 0.4 micrometers of the total thickness which consists of 20A is formed. The p side contact layer 20 which finally consists of a p mold GaN which doped  $\text{Mg } 2 \times 10^{20} \text{--}/\text{cm}^3$  on the p side cladding layer 19 is grown up by 150A thickness.

[0123] After reaction termination and after carrying out annealing at 700 degrees C, like an example 1, the p side contact layer 20 of the maximum upper layer and the p side cladding layer 19 are etched with an RIE system, and it considers as the ridge configuration which has stripe width of face of 4 micrometers.

[0124] Next, as well as an example 1, the p electrode 21 of the stripe ridge outermost surface of the p side contact layer 20 which becomes the whole surface from nickel and Au is formed, and the n electrode 23 of the rear face of the GaN substrate 101 which becomes the whole surface from Ti and aluminum mostly is formed mostly.

[0125] Next, as shown in drawing 4, the insulator layer 25 which consists of  $\text{SiO}_2$  of the p side cladding layer 19 except the area of the p electrode 21 is formed, and p pad electrode 22 electrically connected with the p electrode 21 is formed through this insulator layer 25.

[0126] Cleavage of the GaN substrate 101 is carried out to the shape of a bar in a direction perpendicular to the p electrode 21 after electrode formation, and a resonator is produced to a cleavage plane. In addition, the cleavage plane of a GaN substrate may be the Mth page. The dielectric multilayers which become a cleavage plane from  $\text{SiO}_2$  and  $\text{TiO}_2$  were formed, and, finally it considered as the laser chip which cuts a bar and is shown in drawing 4 in the direction parallel to p electrode. Next, when the chip was installed in the heat sink by face up (condition which the substrate and the heat sink countered), wire bonding of the p pad electrode 22 was carried out and laser oscillation was tried at the room temperature, in the room temperature, by threshold-current consistency  $2.5 \text{ kA}/\text{cm}^2$  and threshold voltage 4.0V, continuous oscillation with an oscillation wavelength of 405nm was checked, and the life of 500 hours or more was shown. By having used GaN for the substrate, this is because the breadth of a crystal defect decreased.

[0127]

[Effect of the Invention] As explained above, since the nitride semiconductor device concerning this invention is constituted using a superlattice layer, it can improve power efficiency extremely in p mold nitride semiconductor regions other than a barrier layer, or n mold nitride semiconductor region. That is, at the conventional nitride semiconductor device, making a barrier layer into multiplex quantum well structure sandwiched the barrier layer, although proposed, for example, usually the cladding layer etc. consisted of single nitride semi-conductor layers. However, in the nitride semiconductor device of this invention, since the superlattice layer which has a layer in which the quantum effectiveness appears is prepared as a cladding layer or a contact layer which pours in a current, the resistivity by the side of a cladding layer can be made low. By this, the threshold current of for example, LD component and threshold voltage can be made low, and this component can be made long lasting. Although the further conventional LED was weak to static electricity, in this invention, a component strong against electrostatic pressure-proofing is realizable. Thus, since  $V_f$  and threshold voltage are made low, calorific value can also decrease and the dependability of this component can also be raised. According to the nitride semiconductor device of this invention, not to mention light emitting devices, such as LED and LD, when it uses for the solar battery which used the nitride semi-conductor, a photosensor, a transistor, etc., it becomes possible to realize a device with the high effectiveness of an emergency, and the utility value on the industry is very large.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the type section Fig. showing the configuration of the nitride semiconductor device (LED component) of the operation gestalt 1 concerning this invention.

[Drawing 2] It is the type section Fig. showing the configuration of the nitride semiconductor device (LD component) of the operation gestalt 2 concerning this invention.

[Drawing 3] It is the graph which shows the thickness of the p side contact layer in LD component of the example 1 concerning this invention, and relation with threshold voltage.

[Drawing 4] It is the type section Fig. of LD component of the example 26 concerning this invention.

[Description of Notations]

- 1 10 .... Substrate,
- 2 11 .... Buffer layer
- 3 12 .... The n side contact layer,
- 13 .... Crack prevention layer,
- 14 .... The n side cladding layer (superlattice layer),
- 15 .... The n side lightguide layer,
- 4 16 .... Barrier layer,
- 17 .... Cap layer,
- 18 .... The p side lightguide layer,
- 5 19 .... The p side cladding layer (superlattice layer),
- 6 20 .... The p side contact layer,
- 7 21 .... p electrode,
- 8 22 .... p pad electrode,
- 9 23 .... n electrode,
- 24 .... n pad electrode,
- 25 .... Insulator layer,
- 101 .... GaN substrate,
- 112 .... The 2nd buffer layer,
- 113 .... The 3rd buffer layer.

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-335757

(43) 公開日 平成10年(1998)12月18日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数22 F D (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平9-364012

(22) 出願日 平成9年(1997)12月16日

(31) 優先権主張番号 特願平9-1937

(32) 優先日 平9(1997)1月9日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-12707

(32) 優先日 平9(1997)1月27日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-102793

(32) 優先日 平9(1997)4月3日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 妹尾 雅之

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

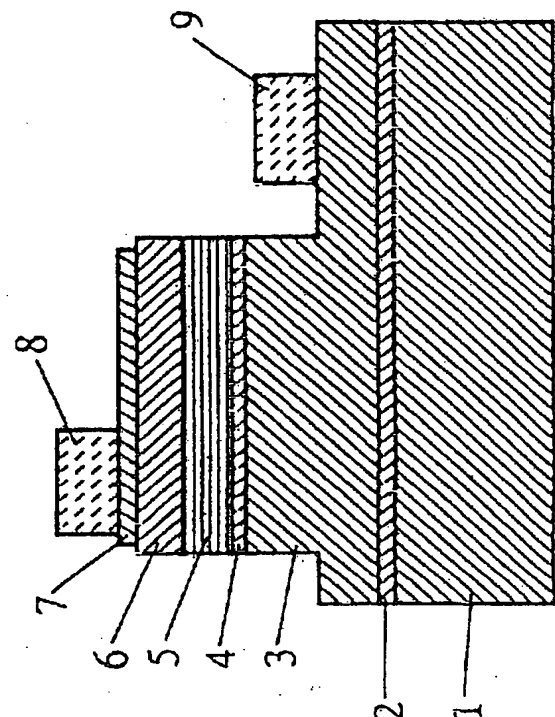
(74) 代理人 弁理士 豊栖 康弘 (外1名)

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 電力効率のよい窒化物半導体素子を提供する。

【解決手段】 1又は多層のn型窒化物半導体層と1又は多層のp型窒化物半導体層との間に活性層を有する窒化物半導体素子において、前記p型窒化物半導体層及び前記n型窒化物半導体層の内の少なくとも一つは超格子層であって、前記超格子層は、100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なりかつ100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第2の層とが積層されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 1又は多層のp型窒化物半導体層と、該p型窒化物半導体層を介してキャリアが注入されて所定の動作をする窒化物半導体からなる活性層とを備えた窒化物半導体素子において、

前記p型窒化物半導体層の少なくとも一つは超格子層であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 1又は多層のn型窒化物半導体層と1又は多層のp型窒化物半導体層との間に活性層を有する窒化物半導体素子において、

前記p型窒化物半導体層及び前記n型窒化物半導体層のうちの少なくとも一つは、超格子層であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記超格子層は、100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なりかつ100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第2の層とが積層された請求項1又は2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記第1の層、及び第2の層の内の少なくとも一方が、Alを含む窒化物半導体からなる請求項3に記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記Alを含む窒化物半導体が、式 $Al_yGa_{1-y}N$ （ただし、 $0 < Y \leq 1$ ）であらわされる窒化物半導体である請求項4に記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記超格子層において、前記第1の層が式 $In_xGa_{1-x}N$ （ $0 \leq X \leq 1$ ）で表される窒化物半導体からなり、かつ前記第2の層が式 $Al_yGa_{1-y}N$ （ $0 \leq Y \leq 1$ 、 $X=Y \neq 0$ ）で表される窒化物半導体からなる請求項5に記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記超格子層において、前記第1の層が式 $In_xGa_{1-x}N$ （ $0 \leq X < 1$ ）で表される窒化物半導体からなり、かつ前記第2の層が式 $Al_yGa_{1-y}N$ （ $0 < Y < 1$ ）で表される窒化物半導体からなる請求項6に記載の窒化物半導体素子。

【請求項8】 前記第1の層及び前記第2の層がそれぞれ、70オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる請求項3乃至7のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項9】 前記第1の層、及び第2の層の膜厚は、それぞれ10オングストローム～70オングストロームの範囲内にある請求項3乃至7のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項10】 前記窒化物半導体素子がさらに、前記p型窒化物半導体層として、p電極を形成するためのp側コンタクト層を備え、該p側コンタクト層の膜厚が500オングストローム以下である請求項1乃至9のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項11】 前記該p側コンタクト層の膜厚がさらに、300オングストローム以下、10オングストロ-

ム以上である請求項10に記載の窒化物半導体素子。

【請求項12】 前記窒化物半導体素子がさらに、前記p型窒化物半導体層として、p電極を形成するためのp側コンタクト層とを含んでなり、

前記超格子層が、前記活性層と前記p側コンタクト層との間に形成された請求項1乃至12の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項13】 前記窒化物半導体素子がさらに、基板上に第1のバッファ層を介して形成された、膜厚0.1 $\mu m$ 以上の窒化物半導体からなる第2のバッファ層と、該第2のバッファ層上に形成された、n型不純物がドーピングされた窒化物半導体からなるn側コンタクト層を有し、該n側コンタクト層にn電極が形成されてなる請求項1乃至13のうちのいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項14】 前記第2のバッファ層の不純物濃度が、前記n側コンタクト層に比較して低濃度である請求項13に記載の窒化物半導体素子。

【請求項15】 前記第1のバッファ層、及び前記第2のバッファ層の内の少なくとも一方は、膜厚100オングストローム以下の互いに組成が異なる窒化物半導体層が積層された超格子層よりなることを特徴とする請求項13または14に記載の窒化物半導体素子。

【請求項16】 前記窒化物半導体素子がさらに、前記n型窒化物半導体層として、n電極を形成するためのn側コンタクト層を含み、

前記超格子層が、前記活性層と前記n側コンタクト層との間に形成された請求項2乃至12の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項17】 前記第1の層及び前記第2の層の内の少なくとも一方に、該層の導電型をn型又はp型に設定する不純物がドーピングされた請求項3乃至16の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項18】 前記第1の層及び前記第2の層にドーピングされた、該層の導電型をn型又はp型に設定する不純物の濃度が互いに異なる請求項3乃至16の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項19】 前記窒化物半導体素子において、前記第1の層と前記第2の層とのバンドギャップエネルギーが互いに異なり、かつバンドギャップエネルギーが大きい層の不純物濃度を大きくした請求項18記載の窒化物半導体素子。

【請求項20】 前記超格子層は、n電極が形成されるn側コンタクト層として形成されたことを特徴とする請求項3乃至19の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項21】 n側クラッド層を含むn型窒化物半導体層と、p側クラッド層を含むp型窒化物半導体層との間に活性層を備え、該活性層においてレーザ発振する窒化物半導体素子において、

前記n側クラッド層が、100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なりかつ100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第2の層とが積層された超格子層であり、かつ前記p側クラッド層が、100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第3の層と、該第3の層と組成が異なりかつ100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第4の層とが積層された超格子層であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項22】 前記p側クラッド層及び該p側クラッド層より上に形成されている層において、共振方向に峰状のリッジ部が形成された請求項21記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はLED（発光ダイオード）、LD（レーザダイオード）等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、又はトランジスタ等の電子デバイスに使用される窒化物半導体（ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$ ）よりなる素子に関する。なお、本明細書において使用する一般式 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 等は単に窒化物半導体層の組成式を示すものであって、異なる層が例えば同一の一般式で示されていても、それらの層のX値、Y値が一致していることまで示すものではない。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号等で最近実用化されたばかりである。これらの各種デバイスに使用されるLEDは、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に、単一量子井戸構造（SQW：Single-Quantum-Well）の $\text{InGaN}$ よりなる活性層が挟まれたダブルヘテロ構造を有している。青色、緑色等の波長は $\text{InGaN}$ 活性層の $\text{In}$ 組成比を増減することで決定されている。

【0003】また、本出願人は、最近この材料を用いてパルス電流下、室温での410nmのレーザ発振を世界で初めて発表した（例えば、Jpn.J.Appl.Phys. Vol35 (1996) pp.174-76）。このレーザ素子はパルス幅2 $\mu\text{s}$ 、パルス周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度8.7kA/cm<sup>2</sup>、410nmの発振を示す。さらにまた、閾値電流が低い改良したレーザ素子を、Appl.Phys.Lett., Vol.69, No.10, 2 Sep. 1996, p.1477-1479において発表した。このレーザ素子は、p型窒化物半導体層の一部にリッジストライプが形成された構造を有しており、パルス幅1 $\mu\text{s}$ 、パルス周期1ms、デューティ比0.1%で、閾値電流187mA、閾値電流密度3kA/cm<sup>2</sup>、410nmの発振を示す。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】窒化物半導体よりなる青色、緑色LEDは順方向電流（If）20mAで、順方向電圧（Vf）が3.4V～3.6Vあり、GaAlAs系の半導体よりなる赤色LEDに比べて2V以上高いため、さらなるVfの低下が望まれている。また、LDでは閾値での電流、電圧が未だ高く、室温で連続発振させるためには、この閾値電流、電圧が下がるような、さらに電力効率の高い素子を実現する必要がある。

【0005】従って本発明の目的とするところは、主として窒化物半導体よりなるLD素子の閾値での電流、電圧を低下させることにより連続発振を実現し、またLED素子ではVfを低下させ、信頼性が高く、電力効率に優れた窒化物半導体素子を実現することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、窒化物半導体素子について、活性層を挟んだp型層、及び／又はn型層を改良すべく鋭意検討した結果、活性層を除くp型層、及び／又はn型層に超格子層を用いることにより、超格子層を用いた層の結晶性を良好にでき、前記問題を解決できることを新たに見だし本発明を成すに至った。すなわち、本発明に係る第1の窒化物半導体素子は、1又は多層のp型窒化物半導体層と、該p型窒化物半導体層を介してキャリアが注入されて所定の動作をする窒化物半導体からなる活性層とを備えた窒化物半導体素子において、前記p型窒化物半導体層の少なくとも一つは超格子層であることを特徴とする。これによって、前記超格子層からなるp型窒化物半導体層の抵抗値を極めて低くできるので、窒化物半導体素子の電力効率を高くすることができる。

【0007】また、本発明に係る第2の窒化物半導体素子は、1又は多層のn型窒化物半導体層と1又は多層のp型窒化物半導体層との間に活性層を有する窒化物半導体素子において、前記p型窒化物半導体層及び前記n型窒化物半導体層の内の少なくとも一つは、超格子層であることを特徴とする。

【0008】また、本発明の第1と第2の窒化物半導体素子においては、前記超格子層の結晶性をさらに良くするために、前記超格子層は、100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なりかつ100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第2の層とが積層されることが好ましい。

【0009】さらに、本発明の第1又は第2の窒化物半導体素子においては、活性層にキャリアを閉じ込めるために、前記第1の層、及び第2の層の内の少なくとも一方が、比較的、エネルギーバンドギャップの大きい、少なくともAlを含む窒化物半導体からなることが好ましく、さらに好ましくは $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ （ $0 < y \leq 1$ ）を用いる。

【0010】また、本発明の第1又は第2の窒化物半導

体素子において、超格子層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) からなる第1の層と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $x=y \neq 0$ ) からなる第2の層とが積層されてなることが好ましい。ただし、第1の層が $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、第2の層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ でも同じであることはいうまでもない。この一般式 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、及び $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ で表される窒化物半導体は結晶性の良い半導体層が得られ、結晶欠陥の少ない層を形成できるため、窒化物半導体全体の結晶性が良くなり、該素子の出力を向上（電力効率の向上）、該素子がLED素子又はLD素子である場合には、Vf、閾値電流、電圧等を低くすることができる。尚、本発明の第1又は第2の窒化物半導体素子では、さらに結晶欠陥の少ない層を形成するために、前記超格子層において、前記第1の層が式 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x < 1$ ) で表される窒化物半導体からなり、かつ前記第2の層が式 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ) で表される窒化物半導体からなることがさらに好ましい。

【0011】また、本発明の第1又は第2の窒化物半導体素子において、前記第1の層、及び第2の層の膜厚は、70オングストローム以下であることが好ましく、さらに好ましくは40オングストローム以下に設定する。また、前記第1の層、及び第2の層の膜厚は、5オングストローム以上であることが好ましく、さらに好ましくは10オングストローム以上に設定する。この範囲内に設定することにより、従来では成長させにくかった $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y \leq 1$ ) 等の窒化物半導体層が結晶性良く形成することができる。特に、p電極と活性層との間にあるp型窒化物半導体層の内の少なくとも一層、及び／又はn電極が形成される電流注入層としてのn側コンタクト層と活性層との間にあるn型窒化物半導体層の内の少なくとも一層を超格子層とする場合に、その超格子層を構成する第1の層、及び第2の層を前記膜厚に設定することによる効果大きい。

【0012】また、本発明の第1又は第2の窒化物半導体素子において、前記p型窒化物半導体層として、p電極を形成するためのp側コンタクト層を備え、該p側コンタクト層の膜厚を500オングストローム以下に設定することが好ましい。このように、薄く形成することにより、該p側コンタクト層の厚さ方向の抵抗値を下げるができる。従って、本発明ではさらに、300オングストローム以下に設定することが好ましい。また、該p側コンタクト層の膜厚の下限は、該p型コンタクト層の下の半導体層を露出させないように、10オングストローム以上に設定することが好ましい。

【0013】本発明の第2の窒化物半導体素子が、前記p型窒化物半導体層として、p電極を形成するためのp側コンタクト層を備えている場合には、前記超格子層が、前記活性層と前記p側コンタクト層との間に形成されることが好ましい。

【0014】また、本発明の第2の窒化物半導体素子がさらに、基板上に第1のバッファ層を介して形成された、膜厚0.1 $\mu\text{m}$ 以上の窒化物半導体からなる第2のバッファ層と、該第2のバッファ層上に形成された、n型不純物がドーパされた窒化物半導体からなるn側コンタクト層を有し、該n側コンタクト層にn電極が形成されることが好ましい。これによって、キャリア濃度が大きく結晶性のよいn側コンタクト層を形成することができる。さらに結晶性のよい、前期第2バッファ層を形成するために、前記第2のバッファ層の不純物濃度が、前記n側コンタクト層に比較して低濃度であることが好ましい。

【0015】また、上記窒化物半導体素子において、前記第1のバッファ層、及び前記第2のバッファ層の内の少なくとも一方は、膜厚100オングストローム以下の互いに組成が異なる窒化物半導体層が積層された超格子層よりなることが好ましい。

【0016】また、本発明の第2の窒化物半導体素子が、前記n型窒化物半導体層として、n電極を形成するためのn側コンタクト層を備えている場合には、前記超格子層が、前記活性層と前記n側コンタクト層との間に形成されることが好ましい。前記活性層と前記p側コンタクト層との間、又は前記活性層と前記n側コンタクト層との間に形成される層は、例えば、LD素子では、キャリア閉じ込め層、光ガイド層として作用するクラッド層であり、これらの層に適用することにより、閾値電流、電圧を顕著に低下させることができる。特に、活性層と前記p型コンタクト層との間にある例えば、p型のクラッド層に適用することによる閾値電流、電圧を低げる効果は大きい。

【0017】また、本発明の第2の窒化物半導体素子においては、前記第1の層及び第2の層の内の少なくとも一方には、導電型を決定する不純物がドーパされていることが好ましく、さらに、超格子層内において第1の層と第2の層で不純物濃度が異なることが好ましい。なお、導電型を決定する不純物とは、窒化物半導体にドーパされる周期律表第4A族、4B族、第6A族、第6B族に属するn型不純物、及び1A、1B族、2A族、2B族に属するp型不純物を指す（以下、本明細書において、適宜n型不純物、p型不純物と記する。）。さらに、第1の層と第2の層とでバンドギャップエネルギーが異なる場合には、バンドギャップエネルギーの大きい方の層の不純物濃度を大きくすることが望ましい。これによって、p型窒化物半導体層側に超格子層を形成した場合の変調ドーパによる高出力化が期待できる。

【0018】本発明の第2の窒化物半導体素子において、前記超格子層は、n電極が接するn側コンタクト層として形成することができ、この場合特に、超格子層を構成する第1の層と第2の層とでバンドギャップエネルギーが互いに異なり、バンドギャップエネルギーの大き



い方の層の不純物濃度を大きくすることにより、後述するHEMTに類似したような効果により電力効率を向上させることができる。例えば、レーザ素子では、さらに閾値電圧、閾値電流が低下する傾向にある。

【0019】本発明に係る1つの態様の窒化物半導体素子は、n側クラッド層を含むn型窒化物半導体層と、p側クラッド層を含むp型窒化物半導体層との間に活性層を備え、該活性層においてレーザ発振する窒化物半導体素子であって、前記n側クラッド層が、100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第1の層と、該第1の層と組成が異なりかつ100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第2の層とが積層された超格子層であり、かつ前記p側クラッド層が、100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第3の層と、該第3の層と組成が異なりかつ100オングストローム以下の膜厚を有する窒化物半導体からなる第4の層とが積層された超格子層であることを特徴とする。これによって、該窒化物半導体素子は、レーザ発振時の閾値電流及び閾値電圧を低くすることができる。また、本発明に係るレーザ発振させる窒化物半導体素子では、前記p側クラッド層及び該p側クラッド層より上に形成されている層において、共振方向に峰状のリッジ部が形成されることが好ましい。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明に係る実施の形態の窒化物半導体素子について説明する。  
実施形態1. 図1は、本発明に係る実施形態1の窒化物半導体素子の構造を示す模式的な断面図であり、該窒化物半導体素子は、基本的な構造として、サファイアよりなる基板1の上に、GaNよりなるバッファ層2、Siドープn型GaNよりなるn側コンタクト層3、単一量子井戸構造のInGaNよりなる活性層4、互いに組成の異なる第1の層と第2の層とが積層された超格子層よりなるp側クラッド層5、MgドープGaNよりなるp側コンタクト層6とが順に積層されているLED素子である。なお、実施形態1の窒化物半導体素子において、p側コンタクト層6表面のほぼ全面には、透光性の全面電極7が形成され、全面電極7の表面にはボンディング用のp電極8が設けられており、さらにp側コンタクト層6より窒化物半導体層の一部をエッチング除去して露出されたn側コンタクト層2の表面にはn電極9が設けられている。

【0021】ここで、実施形態1の窒化物半導体素子は、例えばp型不純物としてMgをドープした $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) よりなる膜厚30オングストロームの第1の層と、同じくp型不純物としてMgを第1の層と同量でドープしたp型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ) よりなる膜厚30オングストロームの第2の層とが積層された超格子層で構成された低い抵抗値を有するp側クラッド層5を備えているので、Vfを低くできる。

このように超格子層をp層側に形成する場合は、Mg、Zn、Cd、Be等のp型不純物を第1の層、及び/又は第2の層にドープしてp型の導電性を有する超格子層とする。積層順としては、第1+第2+第1・・・、若しくは第2+第1+第2・・・の順でも良く、少なくとも合計2層以上積層する。

【0022】尚、超格子層を構成する窒化物半導体よりなる第1の層及び第2の層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) よりなる層及び $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ) よりなる層に限定されるわけではなく、互いに組成が異なる窒化物半導体で構成されていれば良い。また、第1の層と第2の層とのバンドギャップエネルギーが異なっても、同一でもかまわない。例えば、第1の層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) で構成し、第2の層を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y \leq 1$ ) で構成すると、第2の層のバンドギャップエネルギーが必ず第1の層よりも大きくなるが、第1の層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) で構成し、第2の層を $\text{In}_z\text{Al}_{1-z}\text{N}$  ( $0 < z \leq 1$ ) で構成すれば、第1の層と第2の層とは組成が異なるがバンドギャップエネルギーが同一の場合もあり得る。また第1の層を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ) で構成し、第2の層を $\text{In}_z\text{Al}_{1-z}\text{N}$  ( $0 < z \leq 1$ ) で構成すれば、同様に第1の層と第2の層とは組成が異なるがバンドギャップエネルギーが同一の場合もあり得る。すなわち、本発明は、後述する作用を有する超格子層であれば、第1の層と第2の層のバンドギャップエネルギーが同じであっても、異なっても良い。以上のように、ここで言う超格子層とは、組成の異なる極めて薄い層が積層されたものであって、各層の厚さが十分薄いために、格子不整に伴う欠陥が発生することなく積層された層のことをいい、量子井戸構造を含む広い概念である。また、この超格子層は、内部に欠陥は有しないが、通常、格子不整に伴う歪みを有するので歪み超格子とも呼ばれる。本発明において、第1の層、第2の層のN(窒素)を一部As、P等のV族元素で置換してもNが存在している限り窒化物半導体に含まれる。

【0023】本発明において、超格子層を構成する第1の層、第2の層の膜厚は、100オングストロームよりも厚いと、第1の層及び第2の層が弾性歪み限界以上の膜厚となり、該膜中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすくなるので、100オングストローム以下の膜厚に設定することが好ましい。また、第1の層、第2の層の膜厚の下限は特に限定されず1原子層以上であればよい。しかしながら、本発明では、第1の層、第2の層の膜厚は、100オングストロームであると窒化物半導体の臨界(弾性歪み)限界膜厚に十分に達しておらず、弾性歪み限界膜厚以下にして窒化物半導体の結晶欠陥をより少なくするため70オングストローム以下に設定することが好ましく、さらに好ましくはより薄く設定し、40オングストローム～10オングストロームに設

定することが最も好ましい。また、本発明では、10オングストローム以下（1原子層又は2原子層）に設定してもよいが、10オングストローム以下に設定すると、例えば、500オングストローム以上の膜厚のクラッド層を超格子層で形成する場合、積層数が多くなり、製造工程上、形成時間及び手間がかかるので、第1の層、第2の層の膜厚は、10オングストロームより厚く設定することが好ましい。

【0024】図1に示す本実施形態1の窒化物半導体素子の場合、超格子層よりなるp型クラッド層5は、活性層4と電流注入層であるp側コンタクト層6との間に形成されて、キャリア閉じ込め層として作用している。このように、特に超格子層をキャリア閉じ込め層とする場合には、超格子層の平均バンドギャップエネルギーを活性層よりも大きくする必要がある。窒化物半導体では、AlN、AlGa<sub>1-y</sub>N、InAlN等のAlを含む窒化物半導体が、比較的大きなバンドギャップエネルギーを有するので、キャリア閉じ込め層としてこれらの層が用いられる。しかし、従来のようにAlGa<sub>1-y</sub>N単一で厚膜を成長させると結晶成長中にクラックが入りやすい性質を有している。

【0025】そこで、本発明では、超格子層の第1の層、及び第2の層の内の少なくとも一方を少なくともAlを含む窒化物半導体、好ましくはAl<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N（0<Y≤1）を弾性歪み限界以下の膜厚で形成して超格子層を構成することにより、クラックの少ない非常に結晶性の良い超格子層を成長形成させ、しかもバンドギャップエネルギーが大きな層を形成している。この場合さらに好ましくは、第1の層にAlを含まない窒化物半導体層を100オングストローム以下の膜厚で成長させると、Alを含む窒化物半導体よりなる第2の層を成長させる際のバッファ層としても作用し、第2の層にクラックを入りにくくする。そのため第1の層と第2の層とを積層してもクラックのない結晶性のよい超格子層を形成できる。従って、本実施形態1では、超格子層をIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N（0≤X≤1）からなる第1の層（第2の層）とAl<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N（0≤Y≤1、X≠Y=0）からなる第2の層（第1の層）とすることが好ましい。

【0026】また、本実施形態1の窒化物半導体素子において、超格子層であるp側クラッド層5を構成する第1の層及び第2の層の内の少なくとも一方の層には、キャリア濃度を調整するために、該層の導電型をp型に設定するp型の不純物がドーピングされることが好ましい。また、第1の層と第2の層とにp型の不純物をドーピングする場合、第1の層と第2の層とで異なる濃度でドーピングしてもよく、さらに、第1の層と第2の層とのバンドギャップエネルギーが異なる場合には、バンドギャップエネルギーが大きな層の方を高濃度とすることが望ましい。なぜなら、第1の層、第2の層にそれぞれ異なる濃度で不純物をドーピングすると、変調ドーピングによる量子効果によ

って、一方の層のキャリア濃度が実質的に高くなり超格子層全体の抵抗値を低下させることができるからである。このように、本発明では、第1の層と、第2の層の両方に不純物を異なる濃度でそれぞれドーピングしても良いし、第1の層、第2の層のいずれか一方に不純物をドーピングしても良い。

【0027】なお、第1の層及び第2の層にドーピングされる不純物濃度は、特に本発明はこれに限定されないが、p型不純物で通常、 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、最も好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲に調整することが望ましい。 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ よりも少ないとV<sub>f</sub>、閾値電圧を低下させる効果が得られにくく、 $1 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ よりも多いと超格子層の結晶性が悪くなる傾向にあるからである。またn型不純物も同様の範囲に調整することが望ましい。理由は同じである。

【0028】しかしながら、本発明では、超格子層には、第1の層及び第2の層に導電型を決定する不純物がドーピングされていなくてもよい。この不純物がドーピングされない超格子層は、n型窒化物半導体層領域であれば活性層と基板との間におけるいずれの層であってもよく、一方、p型窒化物半導体層領域であれば、キャリア閉じ込め層（光閉じ込め層）と、活性層との間におけるいずれの層であってもよい。

【0029】以上のように構成された超格子層は、第1の層、及び第2の層を弾性歪み限界以下の膜厚にして積層して形成しているので、結晶の格子欠陥を低下させることができ、かつ微少なクラックを減少させることができ、結晶性を飛躍的に良くすることができる。この結果、結晶性をあまり損なうことなく、不純物のドーピング量を多くでき、これによって、n型窒化物半導体層、p型窒化物半導体層のキャリア濃度を増加させることができ、かつ該キャリアが結晶欠陥によって散乱されることなく移動できるので、超格子構造を有しないp型又はn型の窒化物半導体に比較して抵抗率を1桁以上低くすることができる。

【0030】従って、本実施形態1の窒化物半導体素子（LED素子）では、従来、低抵抗な窒化物半導体層を得ることが困難であったp層側（p型半導体層領域（p型クラッド層5とp型コンタクト層6とからなる領域））のp型クラッド層5を超格子層を用いて形成して、該p型クラッド層5の抵抗値を低くすることにより、V<sub>f</sub>を低くすることができる。つまり、p型窒化物半導体は、p型結晶が非常に得られにくい半導体であり、得られたとしても、n型窒化物半導体に比べて、通常抵抗率が2桁以上高い。そのためp型の超格子層をp層側に形成することにより、超格子層で構成されたp型層を極めて低抵抗にすることができ、V<sub>f</sub>の低下が顕著に現れる。従来、p型結晶を得るため技術として、p型

不純物をドーピングした窒化物半導体層をアニーリングして、水素を除去することによりp型の窒化物半導体を作製する技術が知られている(特許第2540791号)。しかし、p型の窒化物半導体を得られたといってもその抵抗率は、数 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上もある。そこで、このp型層をp型の超格子層とすることにより結晶性が良くなり、我々の検討によると、該p層の抵抗率を従来に比較して、1桁以上低くすることができ、Vfの低下させる効果が顕著に現れる。

【0031】また、本実施形態1では、前記のように好ましくは第1の層(第2の層)を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq X \leq 1$ )とし、第2の層(第1の層)を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 \leq Y \leq 1, X \neq Y = 0$ )で構成することにより、結晶性のよいクラックのない超格子層を形成することができるので、素子寿命を向上させることができる。

【0032】次に、我々が以前に出願した特許公報を含む公知文献に開示された従来例と本発明とを比較して説明する。まず、本発明に類似した技術として、我々は先に特開平8-228048号を提案した。この技術は活性層を挟むn型クラッド層の外側、及び/又はp型クラッド層の外側(つまり活性層からより離れた側)にレーザ光の光反射膜として $\text{AlGaIn}$ 、 $\text{GaIn}$ 、 $\text{InGaIn}$ 等よりなる多層膜を形成する技術である。この技術は光反射膜として多層膜を形成するので、その各層の膜厚が $\lambda/4n$  ( $n$ :窒化物半導体の屈折率、 $\lambda$ :波長)で設計されるため非常に厚い。従って多層膜の各膜厚が弾性歪み限界以下の膜厚ではない。また、USP 5, 146, 465号には活性層を $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ よりなるミラーで挟んだ構造のレーザ素子が記載されている。この技術も前技術と同様に $\text{AlGaIn}/\text{AlGaIn}$ をミラーとして作用させるために、各層の膜厚を厚くしなければならない。さらに $\text{AlGaIn}$ のような硬い半導体をクラックなしに何層も積層することは非常に難しい。

【0033】一方、本実施形態では超格子層を構成するように第1と第2の層の各膜厚を、設定(好ましくは、両方とも100オングストローム以下と臨界膜厚以下に設定する。)しており、前記技術とは異なる。本発明では超格子層を構成する窒化物半導体の歪み超格子による効果を利用し、結晶性を向上させて、Vfを低下させている。

【0034】さらに、特開平5-110138、特開平5-110139号公報には薄膜の $\text{AlN}$ と $\text{GaIn}$ とを積層して $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ の結晶を得る方法が記載されている。この技術は、所定の混晶比の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ の混晶を得るために、数十オングストロームの膜厚の $\text{AlN}$ 、 $\text{GaIn}$ を積層する技術であって本発明の技術とは異なる。しかも $\text{InGaIn}$ よりなる活性層を有していないので、超格子層にクラックが入りやすい。また、特開平6-21511号、6-268257号公報では $\text{GaIn}$

と $\text{InGaIn}$ 、若しくは $\text{InGaIn}$ と $\text{InGaIn}$ とを積層した多重量子井戸構造の活性層を有するダブルヘテロ構造の発光素子が記載されている。本発明では活性層以外の層を多重量子井戸構造とする技術であり、この技術とも異なる。

【0035】さらに本発明の素子では $\text{InGaIn}$ のような、少なくともインジウムを含む窒化物半導体を活性層に備える場合に、超格子の効果が顕著に現れる。 $\text{InGaIn}$ 活性層はバンドギャップエネルギーが小さく窒化物半導体素子の活性層としては最も適している。そのため $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ よりなる超格子層を、活性層を挟設する層として形成すると、活性層とバンドギャップエネルギー差、屈折率差を大きくできるため、該超格子層がレーザ素子を実現する際に非常に優れた光閉じ込め層として動作する(実施形態2の窒化物半導体素子に適用)。さらに $\text{InGaIn}$ は結晶の性質が他の $\text{AlGaIn}$ のような $\text{Al}$ を含む窒化物半導体に比べて柔らかいので、 $\text{InGaIn}$ を活性層とすると、積層した各窒化物半導体層全体にクラックが入りにくくなる。逆に $\text{AlGaIn}$ のような窒化物半導体を活性層とすると、その結晶の性質が硬いために結晶全体にクラックが入りやすくなる傾向にある。

【0036】さらにp側コンタクト層の膜厚を500オングストローム以下、さらに好ましくは300オングストローム以下、最も好ましくは200オングストローム以下に調整することが望ましい。なぜなら、上述したように抵抗率が数 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上もあるp型窒化物半導体層の膜厚を500オングストローム以下に調整することにより、さらに抵抗率を下げることができるため、閾値での電流、電圧が低下する。またp型層から除去される水素の量を多くすることができ、さらに抵抗率を低下させることができる。

【0037】以上、詳述したように、本実施の形態1の窒化物半導体素子では、p型クラッド層5を第1の層と第2の層とが積層された超格子層で構成しているのので、該p型クラッド層5を極めて低抵抗にでき、該素子のVfを低くできる。

【0038】以上の実施形態1では、p側クラッド層5に超格子層を用いたが、本発明はこれに限らず、p側コンタクト層6にp型の超格子層を用いてもよい。すなわち、電流(正孔)が注入されるp側コンタクト層6も例えば $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる第1の層と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ よりなる第2の層とが積層されたp型の超格子層とすることもできる。p型コンタクト層6を超格子層として、第1の層のバンドギャップエネルギーが第2の層よりも小さい場合、バンドギャップエネルギーが小さい $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ よりなる第1の層を最表面にしてp電極と接触する層とすることが好ましく、これによって、p電極との接触抵抗が小さくなり好ましいオーミックが得られる。これはバンドギャップエネルギーが小さい第1の

層の方が、第2の層よりもキャリア濃度の高い窒化物半導体層が得られやすい傾向にあるからである。また、本発明では、p型窒化物半導体層領域に、上述のp側クラッド層及びp側コンタクト層以外のp型窒化物半導体層をさらに形成する場合は、該p型窒化物半導体層を超格子層で構成してもよい。

【0039】以上の実施形態1では、p側クラッド層5に超格子層を用いたが、本発明はp型窒化物半導体層領域に限らず、n型窒化物半導体領域のn側コンタクト層3にn型の超格子層を用いてもよい。このように、n側コンタクト層3を超格子層とする場合は、例えば、Si、Ge等のn型不純物を第1の層及び／又は第2の層にドーピングして、n型の導電性を有する超格子層を基板1と活性層4との間にn型コンタクト層3として形成することができる。この場合、特にn型コンタクト層3を不純物濃度が異なる超格子層とすると横方向の抵抗値が低下して、LDでは閾値電圧、電流が低下する傾向にあることが確認された。

【0040】これは、バンドギャップエネルギーの大きな層の方に、多くn型不純物をドーピングした超格子層をn層側のコンタクト層として形成した場合について、以下のようなHEMT (High-Electron-Mobility-Transistor) に類似した作用が出現した効果が推察される。n型不純物がドーピングされたバンドギャップの大きい第1の層(第2の層)と、バンドギャップが小さいアンドープ(undoped)の第2の層(第1の層)とを積層した超格子層では、n型不純物を添加した層と、アンドープの層とのヘテロ接合界面で、バンドギャップエネルギーの大きな層側が空乏化し、バンドギャップエネルギーの小さな層側の厚さ(100オングストローム)前後の界面に電子(二次元電子ガス)が蓄積する。この二次元電子ガスがバンドギャップエネルギーの小さな層側にできるので、電子が走行するときに不純物による散乱を受けないため、超格子層の電子の移動度が高くなり、抵抗率が低下すると推察される。

【0041】また、本発明において、n型窒化物半導体層領域にn側のクラッド層を設ける場合は、該n側のクラッド層を超格子層としてもよい。n型窒化物半導体層領域にn側コンタクト層及びn側クラッド層以外のn型窒化物半導体層を形成する場合は、該n型窒化物半導体層を超格子層としてもよい。しかし、n型窒化物半導体層領域に超格子層からなる窒化物半導体層を設ける場合、キャリア閉じ込め層としてのn側クラッド層、若しくは電流(電子)が注入されるn側コンタクト層3を超格子構造とすることが望ましいことはいうまでもない。

【0042】このように、超格子層を活性層4と基板1との間のn型窒化物半導体層領域に設ける場合、超格子層を構成する第1の層、第2の層には不純物をドーピングしなくても良い。なぜなら窒化物半導体はアンドープで

もn型になる性質があるからである。但し、n層側に形成する場合においても上述のように、第1の層、第2の層にSi、Ge等のn型不純物をドーピングして、不純物濃度の差を設ける方が望ましい。

【0043】以上のように、超格子層をn型窒化物半導体層領域に形成した場合の効果は、超格子層をp型窒化物半導体層領域に設けた場合と同様に、結晶性の向上が挙げられる。詳細に説明すると、ヘテロ接合を有する窒化物半導体素子の場合、通常n型、p型のキャリア閉じ込め層は、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きいAlGaInで構成される。AlGaInは結晶成長が非常に難しく、例えば単一組成で0.5μm以上の膜厚で成長させようとする、結晶中にクラックが入りやすくなる性質がある。しかしながら、本発明のように第1の層と、第2の層とを弾性歪み限界以下の膜厚で積層して超格子層とすると、単一の第1の層、第2の層のみで結晶性の良いものが得られるため、全体を膜厚の厚い超格子層としても結晶性が良いままでクラッド層が成長できる。そのため全体の窒化物半導体の結晶性が良くなってn型領域の移動度が大きくなるので、その超格子層をクラッド層とした素子でV<sub>f</sub>が低下する。さらに、超格子層にSi、Geの不純物をドーピングして、超格子層をコンタクト層とした場合には前記したHEMTに類似した効果が顕著に現れてくるようになると思われ、閾値電圧、V<sub>f</sub>をさらに低下させることができる。

【0044】このように、本発明において、超格子層は、活性層を挟設するn型領域又はp型領域に形成されるキャリア閉じ込め層としてのクラッド層、活性層の光ガイド層、若しくは電極が接して形成される電流注入層として用いられるため、超格子層を構成する窒化物半導体の平均バンドギャップエネルギーが活性層よりも大きくなるように調整することが望ましい。

【0045】実施形態2。次に、本発明に係る実施形態2について説明する。図2は、本発明に係る実施形態2の窒化物半導体素子の構造を示す模式的な断面図(レーザ光の共振方向に垂直な断面)であり、該窒化物半導体素子は、例えば、C面を主面とするサファイヤ等の基板10上に、n型窒化物半導体層領域(n側コンタクト層12、クラック防止層13、n側クラッド層14及びn側光ガイド層15からなる。)とp型窒化物半導体領域(キャップ層17、p側光ガイド層18、p側クラッド層19及びp側コンタクト層20からなる。)とによって挟設された窒化物半導体からなる活性層16を備えた窒化物半導体レーザダイオード素子である。

【0046】ここで、本実施形態2の窒化物半導体素子は、n型窒化物半導体層領域におけるn側クラッド層14を超格子層で形成し、かつp型窒化物半導体領域におけるp側クラッド層19を超格子層で形成することにより、LD素子である窒化物半導体素子の閾値電圧を低く設定している。以下この図2を参照して本発明に係る実

施形態2の窒化物半導体素子について詳細に説明する。

【0047】この実施形態2の窒化物半導体素子においては、まず、基板10上にバッファ層11と第2のバッファ層112を介してn側コンタクト層12が形成され、さらにn側コンタクト層12上に、クラック防止層13、n側クラッド層14及びn側光ガイド層15が積層されて、n型窒化物半導体層領域が形成される。尚、クラック防止層13の両側に露出されたn側コンタクト層12の表面にはそれぞれ、n側コンタクト層12とオーミック接触するn側電極23が形成され、該n側電極23上には、例えば、ワイヤーボンディング用のn側パッド電極が形成される。そして、n側光ガイド層15上に窒化物半導体からなる活性層16が形成され、さらに該活性層16上に、キャップ層17、p側光ガイド層18、p側クラッド層19及びp側コンタクト層20が積層されてp型窒化物半導体層領域が形成される。さらに、p側コンタクト層20上に該p側コンタクト層20とオーミック接触するp側電極21が形成され、該p側電極21上には、例えば、ワイヤーボンディング用のp側パッド電極が形成される。なお、p側コンタクト層20とp側クラッド層19の上部とによって、共振方向に長く伸びた峰状のリッジ部が構成され、該リッジ部を形成することによって、活性層16において、光りを幅方向（共振方向に直交する方向）に閉じ込め、リッジ部（ストライプ状の電極）に垂直な方向で劈開された劈開面を用いて、リッジ部の長手方向に共振する共振器を作製してレーザ発振させる。

【0048】次に、実施形態2の窒化物半導体素子の各構成要素について説明する。

（基板10）基板10にはC面を主面とするサファイアその他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル（ $MgAl_2O_4$ ）のような絶縁性の基板の他、SiC（6H、4H、3Cを含む）、ZnS、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0049】（バッファ層11）バッファ層11は、例えばAlN、GaN、AlGaIn、InGaIn等を900℃以下の温度で成長させて、膜厚数十オングストローム～数百オングストロームに形成する。このバッファ層11は、基板と窒化物半導体との格子定数不正を緩和するために形成するが、窒化物半導体の成長方法、基板の種類等によっては省略することも可能である。

【0050】（第2のバッファ層112）第2のバッファ層112は、前記バッファ層11の上に、前記バッファ層よりも高温で成長させた単結晶の窒化物半導体よりなる層であり、バッファ層11よりも厚膜を有する。この第2のバッファ層112は次に成長させるn側コンタクト層12よりもn型不純物濃度が少ない層とするか、若しくはn型不純物をドーピングしない窒化物半導体層、好ましくはGaN層とすると、第2のバッファ層112の結晶性が良くなる。最も好ましくはn型不純物をアンド

ープのGaNとすると最も結晶性が良い窒化物半導体を得られる。従来のように負電極を形成するn側コンタクト層を数 $\mu m$ 以上の膜厚で、高キャリア濃度の単一の窒化物半導体層で構成しようとする、n型不純物濃度の大きい層を成長させる必要がある。不純物濃度の大きい厚膜の層は結晶性が悪くなる傾向にある。このため結晶性の悪い層の上に、活性層等の他の窒化物半導体を成長させても、結晶欠陥を他の層が引き継ぐことになって結晶性の向上が望めない。そこで、n側コンタクト層12層を成長させる前に、不純物濃度が小さい、結晶性の良い第2のバッファ層112を成長させることにより、キャリア濃度が大きく結晶性の良いn側コンタクト層12を成長させることができる。この第2のバッファ層112の膜厚は、0.1 $\mu m$ 以上、さらに好ましくは0.5 $\mu m$ 以上、最も好ましくは1 $\mu m$ 以上、20 $\mu m$ 以下に調整することが望ましい。第2のバッファ層112が0.1 $\mu m$ よりも薄いと、不純物濃度の大きいn型コンタクト層12を厚く成長させなければならず、n側コンタクト層12の結晶性の向上があまり望めない傾向にある。また20 $\mu m$ よりも厚いと、第2のバッファ層112自体に結晶欠陥が多くなりやすい傾向にある。また第2のバッファ層112を厚く成長させる利点として、放熱性の向上が挙げられる。つまりレーザ素子を作製した場合に、第2のバッファ層112で熱が広がりやすくレーザ素子の寿命が向上する。さらにレーザ光の漏れ光が第2のバッファ層112内で広がって、楕円形に近いレーザ光が得やすくなる。なお、第2のバッファ層112は、基板にGaN、SiC、ZnO等の導電性基板を使用した場合には省略してもよい。

【0051】（n側コンタクト層12）n側コンタクト層12は負電極を形成するコンタクト層として作用する層であり、0.2 $\mu m$ 以上、4 $\mu m$ 以下に調整することが望ましい。0.2よりも薄いと、後で負電極を形成する際に、この層を露出させるようにエッチングレートを制御するのが難しく、一方、4 $\mu m$ 以上にすると不純物の影響で結晶性が悪くなる傾向にある。このn側コンタクト層12の窒化物半導体にドーピングするn型不純物の範囲は $1 \times 10^{17} / cm^3 \sim 1 \times 10^{21} / cm^3$ の範囲、さらに好ましくは、 $1 \times 10^{18} / cm^3 \sim 1 \times 10^{19} / cm^3$ に調整することが望ましい。 $1 \times 10^{17} / cm^3$ よりも小さいとn電極の材料と好ましいオーミックが得られにくくなるので、レーザ素子では閾値電流、電圧の低下が望めず、 $1 \times 10^{21} / cm^3$ よりも大きいと、素子自体のリーク電流が多くなったり、また結晶性も悪くなるため、素子の寿命が短くなる傾向にある。なおn側コンタクト層12においては、n電極23とのオーミック接触抵抗を小さくするために、該n側コンタクト層12のキャリア濃度を上げる不純物の濃度を、nクラッド層14よりも大きくすることが望ましい。なお、n側コンタクト層12は基板にGaN、SiC、ZnO等の導電性

基板を使用し基板裏面側に負電極を設ける場合にはコンタクト層としてではなくバッファ層として作用する。

【0052】また、第2のバッファ層11、及びn側コンタクト層12の内の少なくとも一方の層を、超格子層とすることもできる。超格子層とすると、この層の結晶性が飛躍的に良くなり、閾値電流が低下する。好ましくは第2のバッファ層11よりも膜厚が薄いn側コンタクト層12の方を超格子層とする。n側コンタクト層12を互いにバンドギャップエネルギーが異なる第1の層と第2の層とが積層されてなる超格子構造とした場合においては、好ましくはバンドギャップエネルギーの小さな層を露出させてn電極23を形成することにより、n電極23との接触抵抗が低くでき閾値を低下させることができる。なおn型窒化物半導体と好ましいオーミックが得られるn電極23の材料としてはAl, Ti, W, Si, Zn, Sn, In等の金属若しくは合金が挙げられる。

【0053】また、n型コンタクト層12を不純物濃度が異なる超格子層とすることにより、実施形態1において説明したHEMTに類似した効果により横方向の抵抗値を低くでき、LD素子の閾値電圧、電流を低くすることができる。

【0054】(クラック防止層13)クラック防止層13は、例えば、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなり、例えば、500オングストロームの膜厚を有する。このクラック防止層13はInを含むn型の窒化物半導体、好ましくはInGa<sub>N</sub>を成長させて形成することにより、その上に形成されるAlを含む窒化物半導体層中にクラックが入るのを防止することができる。なお、このクラック防止層13は100オングストローム以上、0.5 $\mu\text{m}$ 以下の膜厚で成長させることが好ましい。100オングストロームよりも薄いと前記のようにクラック防止として作用しにくく、0.5 $\mu\text{m}$ よりも厚いと、結晶自体が黒変する傾向にある。なお、このクラック防止層13は、本実施形態1のようにn側コンタクト層12を超格子とする場合、または次に成長させるn側クラッド層14を超格子層とする場合には省略してもよい。

【0055】(n型超格子からなるn側クラッド層14)n側クラッド層は、例えばSiを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなり、20オングストロームの膜厚を有する第1の層、及びアンドープのGa<sub>N</sub>よりなり、20オングストロームの膜厚を有する第2の層とが交互に積層された超格子層よりなり、全体で例えば0.5 $\mu\text{m}$ の膜厚を有する。このn型クラッド層14はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、超格子層とした場合にはいずれか一方の層をAlを含む窒化物半導体、好ましくはAlGa<sub>N</sub>を成長させることが望ましく、100オングストローム以上、2 $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングスト

ローム以上、1 $\mu\text{m}$ 以下で成長させることにより良好なキャリア閉じ込め層が成長できる。このn型クラッド層14は単一の窒化物半導体で成長させることもできるが、超格子層とすることがクラックのない結晶性のよいキャリア閉じ込め層が形成できる。

【0056】(n側光ガイド層15)n側光ガイド層15は、例えば、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>N</sub>からなり、0.1 $\mu\text{m}$ の膜厚を有する。このn側光ガイド層15は、活性層の光ガイド層として作用し、Ga<sub>N</sub>、InGa<sub>N</sub>を成長させて形成することが望ましく、通常100オングストローム～5 $\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～1 $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることが望ましい。なお、この光ガイド層15も超格子層にすることができる。n側光ガイド層15、n側クラッド層14を超格子層にする場合、超格子層を構成する窒化物半導体層の平均的なバンドギャップエネルギーは活性層よりも大きくする。超格子層とする場合には、第1の層及び第2の層の少なくとも一方にn型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。また、この光ガイド層15は、アンドープの窒化物半導体単独若しくはアンドープの窒化物半導体が積層された超格子でもよい。

【0057】(活性層16)活性層16は、例えば、Siを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなり、25オングストロームの膜厚を有する井戸層と、Siを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなり、50オングストロームの膜厚を有する障壁層とを交互に積層することにより、所定の膜厚を有する多重量子井戸構造(MQW)で構成する。活性層16においては、井戸層、障壁層両方に不純物をドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。なおn型不純物をドープすると閾値が低下する傾向にある。また、このように活性層16を多重量子井戸構造とする場合には必ずバンドギャップエネルギーの小さい井戸層と、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが小さい障壁層とを積層するため、超格子層とは区別される。井戸層の厚さは、100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは、50オングストローム以下にする。障壁層の厚さは150オングストローム以下、好ましくは100オングストローム以下、最も好ましくは70オングストローム以下にする。

【0058】(p側キャップ層17)p側キャップ層17は、活性層16よりもバンドギャップエネルギーが大きい、例えば、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなり、例えば、200オングストロームの膜厚を有する。本実施形態2では、このように、キャップ層17を用いることが好ましいが、このキャップ層は、薄い膜厚に形成されるので、本発明では、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型としても良い。p側キャップ層17の膜厚は0.1 $\mu\text{m}$ 以

下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。0.1  $\mu\text{m}$ より厚い膜厚で成長させると、p側キャップ層17中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。また、p側キャップ層17の膜厚が、0.1  $\mu\text{m}$ 以上であると、キャリアがこのエネルギーバリアとなるp型キャップ層17をトンネル効果により通過できなくなるからであり、該トンネル効果によるキャリアの通過を考慮すると、上述したように500オングストローム以下、さらには300オングストローム以下に設定することが好ましい。

【0059】また、p側キャップ層17には、LD素子を発振しやすくするために、Alの組成比が大きいAlGa<sub>1-x</sub>Nを用いて形成することが好ましく、該AlGa<sub>1-x</sub>Nを薄く形成する程、LD素子は発振しやすくなる。例えば、Y値が0.2以上のAl<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nであれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層17の膜厚の下限は特に限定しないが、100オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0060】(p側光ガイド層18) p側光ガイド層18は、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層17よりも小さい、例えば、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>1-x</sub>Nよりなり、0.1  $\mu\text{m}$ の膜厚を有する。このp側光ガイド層18は、活性層16の光ガイド層として作用し、n側光ガイド層15と同じくGa<sub>1-x</sub>N、InGa<sub>1-x</sub>Nで成長させて形成することが望ましい。また、この層はp側クラッド層19を成長させる際のバッファ層としても作用し、100オングストローム～5  $\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～1  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることにより、好ましい光ガイド層として作用する。このp側光ガイド層は通常はMg等のp型不純物をドープしてp型の導電型とするが、特に不純物をドープしなくても良い。なお、このp側光ガイド層を超格子層とすることもできる。超格子層とする場合には第1の層及び第2の層の少なくとも一方にp型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。

【0061】(p側クラッド層19=超格子層) p側クラッド層19は、例えば、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなり、例えば、20オングストロームの膜厚を有する第1の層と、例えばMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>1-x</sub>Nよりなり、20オングストロームの膜厚を有する第2の層とが交互に積層された超格子層からなる。このp側クラッド層19は、n側クラッド層14と同じくキャリア閉じ込め層として作用し、特にp型層の抵抗率を低下させるための層として作用する。このp側クラッド層19の膜厚も特に限定しないが、100オングストローム以上、2  $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1  $\mu\text{m}$ 以下で形成することが望ましい。

【0062】(p側コンタクト層20) p側コンタクト層20は、p側クラッド層19の上に、例えば、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>1-x</sub>Nよりなり、例えば、150オングストロームの膜厚を有する。このp側コンタクト層20はp型のIn<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (0 ≤ X, 0 ≤ Y, X+Y ≤ 1) で構成することができ、好ましくは、上述のようにMgをドープしたGa<sub>1-x</sub>Nとすれば、p電極21と最も好ましいオーミック接触が得られる。さらにp側コンタクト層の膜厚を500オングストローム以下、さらに好ましくは300オングストローム以下、最も好ましくは200オングストローム以下に調整することが望ましい。なぜなら、上述したように抵抗率が数Ω・cm以上もあるp型窒化物半導体層の膜厚を500オングストローム以下に調整することにより、さらに抵抗率を下げることができるため、閾値での電流、電圧が低下する。またp型層から除去される水素の量を多くすることができ、さらに抵抗率を低下させることができる。

【0063】なお、本発明では、p側コンタクト層20も超格子層とすることもできる。超格子層とする場合には、特にバンドギャップエネルギーが異なる第1の層と第2の層とを積層し、第1+第2+第1+第2+... というように積層していき、最後にバンドギャップエネルギーが小さい方の層が露出するようにすると、p電極21と好ましいオーミック接触が得られる。p電極21の材料としては、例えばNi、Pd、Ni/Au等を挙げることができる。

【0064】また、本実施形態2では、図2に示すようにp電極21と、n電極23との間に露出した窒化物半導体層の表面にSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜25が形成され、この絶縁膜25に形成された開口部を介してp電極21と電気的に接続されたpパッド電極22、及びn電極23と接続されたnパッド電極24が形成される。このpパッド電極22は実質的なp電極21の表面積を広げて、p電極側をワイヤーボンディング、ダイボンディングできるようにし、一方nパッド電極24はn電極23の剥がれを防止する。

【0065】以上の実施形態2の窒化物半導体素子は、第1の層、及び第2の層を弾性歪み限界以下の膜厚にして積層された超格子層である、結晶性のよいp型クラッド層19を備えている。これによって、本実施形態2の窒化物半導体素子は、p側クラッド層19の抵抗値を、超格子構造を有しないp側クラッド層に比較して1桁以上低くすることができるので、閾値電圧、電流を低くすることができる。

【0066】また、本実施形態2の窒化物半導体素子ではp型Al<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nを含むp側クラッド層19に接して、バンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体をp側コンタクト層20として、その膜厚を500オングストローム以下と薄く形成することにより、実質的にp



側コンタクト層20のキャリア濃度が高くなりp電極と好ましいオーミックが得られて、素子の閾値電流、電圧を低くすることができる。さらに、n側コンタクト層を成長させる前に、第2のバッファ層112を備えているので、第2のバッファ層112の上に成長させる窒化物半導体層の結晶性が良くなり、長寿命の素子を実現できる。好ましくは、第2のバッファ層112の上に成長させるn側コンタクト層を超格子とすると、横方向の抵抗値が低くなり、閾値電圧・閾値電流の低い素子を実現できる。

【0067】なお、本実施形態2のLD素子ではInGaNのような、少なくともインジウムを含む窒化物半導体を活性層16に備える場合には、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ とが交互に積層された超格子層を、活性層16を挟設する層(n側クラッド層14及びp側クラッド層19)として用いることが好ましい。これによって、活性層16と該超格子層とのバンドギャップエネルギー差、屈折率差を大きくできるため、該超格子層をレーザ素子を実現する際に非常に優れた光閉じ込め層として動作させることができる。さらにInGaNは結晶の性質が他のAlGaNのようなAlを含む窒化物半導体に比べて柔らかいので、InGaNを活性層とすると、積層した各窒化物半導体層全体にクラックが入りにくくなる。これによって、LD素子の寿命を長くすることができる。

【0068】本実施形態2のように量子井戸構造を有する活性層16を有するダブルヘテロ構造の半導体素子の場合、その活性層16に接して、活性層16よりもバンドギャップエネルギーが大きい膜厚0.1 $\mu\text{m}$ 以下の窒化物半導体よりなるp側キャップ層17、好ましくはAlを含む窒化物半導体よりなるp側キャップ層17を設け、そのp側キャップ層17よりも活性層から離れた位置に、p側キャップ層17よりもバンドギャップエネルギーが小さいp側光ガイド層18を設け、そのp側光ガイド層18よりも活性層から離れた位置に、p側光ガイド層18よりもバンドギャップが大きい窒化物半導体、好ましくはAlを含む窒化物半導体を含む超格子構造を有するp側クラッド層19を設けることは非常に好ましい。しかもp側キャップ層17のバンドギャップエネルギーを大きくしてあるため、n層から注入された電子が、このp側キャップ層17で阻止されて閉じ込められ、電子が活性層をオーバーフローしないために、素子のリーク電流が少なくなる。

【0069】以上の実施形態2の窒化物半導体素子では、レーザ素子の構造として好ましい構造を示したが、本発明ではn型の超格子層は活性層16から下のn型窒化物半導体層領域(n型層側)に少なくとも1層有していれば良く、またp型の超格子層も活性層16から上のp型窒化物半導体層領域(p型層側)に少なくとも1層有していれば良く、素子構成は特に規定するものではない。

但し、前記超格子層はp層側に形成する場合はキャリア閉じ込め層としてのp側クラッド層19に形成し、n層側に形成する場合はn電極23が接した電流注入層としてのnコンタクト層12、またはキャリア閉じ込めとしてのnクラッド層14として形成することが素子のVf、閾値を低下させる上で最も好ましい傾向にある。また、実施形態2の素子と同様の構成を、LED素子に適用できることはいうまでもない(ただし、LED素子では、リッジ部は必要ない)。

【0070】以上のように構成された実施形態2の窒化物半導体素子では、各層が形成された後、Hを含まない雰囲気、例えば、窒素雰囲気中で、400℃以上、例えば700℃でアニーリングを行うことが好ましく、これによって、p型窒化物半導体層領域の各層をさらに低抵抗化することができるので、これによって、さらに閾値電圧を低くすることができる。

【0071】また、実施形態2の窒化物半導体素子では、p側コンタクト層12の表面にNiとAuよりなるp電極21がストライプ状に形成され、このp電極21に対して左右対称にn側コンタクト層を露出させて、そのn側コンタクト層表面のほぼ全面にn電極23を設けている。このように、絶縁性基板を用いた場合p電極21の両側に左右対称にn電極23を設ける構造は、閾値電圧を低くする上で非常に有利である。

【0072】なお、本実施形態2では、リッジ部(ストライプ状の電極)に垂直な方向で劈開した劈開面(共振器面)に $\text{SiO}_2$ と $\text{TiO}_2$ よりなる誘電体多層膜を形成してもよい。

【0073】このように、本発明において、超格子層は、活性層を挟設するn型領域又はp型領域に形成されるキャリア閉じ込め層としてのクラッド層、活性層の光ガイド層、若しくは電極が接して形成される電流注入層として用いられるため、超格子層を構成する窒化物半導体の平均バンドギャップエネルギーが活性層よりも大きくなるように調整することが望ましい。

【0074】

【実施例】以下、実施例において本発明を詳説する。

【実施例1】本発明に係る実施例1は図2に示す窒化物半導体素子(LD素子)の作成例であり、以下の手順で作製される。まず、サファイア(C面)よりなる基板10を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニア( $\text{NH}_3$ )とTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板10上にGaNよりなる第1のバッファ層11を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0075】バッファ層11成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用



い、キャリア濃度  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  のアンドープ GaN よりなる第2のバッファ層112を  $5 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。第2のバッファ層は  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはアンドープで Al (Y 値) が 0.1 以下の  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、最も好ましくはアンドープの GaN とする。続いて、 $1050^\circ\text{C}$  で TMG、アンモニア、不純物ガスにシランガス ( $\text{SiH}_4$ ) を用い、Si を  $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  ドープした n 型 GaN よりなる n 側コンタクト層12を  $1 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。この n 側コンタクト層12は超格子で形成するとさらに好ましい。

【0076】次に、温度を  $800^\circ\text{C}$  にして、原料ガスに TMG、TMI (トリメチルインジウム)、アンモニア、不純物ガスにシランガスを用い、Si を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  よりなるクラック防止層13を 500 オングストロームの膜厚で成長させる。そして温度を  $1050^\circ\text{C}$  にして、TMA、TMG、アンモニア、シランガスを用い、Si を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした n 型  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる第1の層を 20 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、TMA、シランを止め、アンドープ GaN よりなる第2の層を 20 オングストロームの膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ 100 回繰り返し、総膜厚  $0.4 \mu\text{m}$  の超格子層よりなる n 側クラッド層14を成長させる。

【0077】続いて、 $1050^\circ\text{C}$  で Si を  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした n 型 GaN よりなる n 側光ガイド層15を  $0.1 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。次に、TMG、TMI、アンモニア、シランを用いて活性層16を成長させる。活性層16は温度を  $800^\circ\text{C}$  に保持して、まず Si を  $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  でドープした  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる井戸層を 25 オングストロームの膜厚で成長させる。次に TMI のモル比を変化させるのみで同一温度で、Si を  $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  ドープした  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  よりなる障壁層を 50 オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を 2 回繰り返し、最後に井戸層を積層した総膜厚 175 オングストロームの多重量子井戸構造 (MQW) の活性層16を成長させる。

【0078】次に、温度を  $1050^\circ\text{C}$  に上げ、原料ガスに TMG、TMA、アンモニア、不純物ガスに  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、Mg を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした p 型  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  よりなる p 側キャップ層17を 300 オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、 $1050^\circ\text{C}$  で、バンドギャップエネルギーが p 側キャップ層17よりも小さい、Mg を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした p 型 GaN よりなる p 側光ガイド層18を  $0.1 \mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

【0079】続いて、TMA、TMG、アンモニア、C

$\text{p}_2\text{Mg}$  を用い、 $1050^\circ\text{C}$  で Mg を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした p 型  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  よりなる第1の層を 20 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて TMA のみを止め、Mg を  $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした p 型 GaN よりなる第2の層を 20 オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこの操作をそれぞれ 100 回繰り返し、総膜厚  $0.4 \mu\text{m}$  の超格子層よりなる p 側クラッド層19を形成する。最後に、 $1050^\circ\text{C}$  で、p 側クラッド層19の上に、Mg を  $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした p 型 GaN よりなる p 側コンタクト層20を 150 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0080】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、 $700^\circ\text{C}$  でアニーリングを行い、p 型層をさらに低抵抗化する。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図2に示すように、RIE 装置により最上層の p 側コンタクト層20と、p 側クラッド層19とをエッチングして、 $4 \mu\text{m}$  のストライプ幅を有するリッジ形状とする。

【0081】次にリッジ表面にマスクを形成し、図2に示すように、ストライプ状のリッジに対して左右対称にして、n 側コンタクト層12の表面を露出させる。次に p 側コンタクト層20のストライプリッジ最表面のほぼ全面に Ni と Au よりなる p 電極21を形成する。一方、Ti と Al よりなる n 電極23をストライプ状の n 側コンタクト層3のほぼ全面に形成する。

【0082】次に、図2に示すように p 電極21と、n 電極23との間に露出した窒化物半導体層の表面に  $\text{SiO}_2$  よりなる絶縁膜25を形成し、この絶縁膜25を介して p 電極21と電気的に接続した p パッド電極22、及び n パッド電極24を形成する。以上のようにして、n 電極と p 電極とを形成したウェーハを研磨装置に移送し、ダイヤモンド研磨剤を用いて、窒化物半導体を形成していない側のサファイア基板1をラッピングし、基板の厚さを  $50 \mu\text{m}$  とする。ラッピング後、さらに細かい研磨剤で  $1 \mu\text{m}$  ポリシングして基板表面を鏡面状とする。

【0083】基板研磨後、研磨面側をスクライブして、ストライプ状の電極に垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。共振器面に  $\text{SiO}_2$  と  $\text{TiO}_2$  よりなる誘電体多層膜を形成し、最後に p 電極に平行な方向で、バーを切断してレーザチップとした。次にチップをフェースアップ (基板とヒートシンクとが対向した状態) でヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度  $2.9 \text{ kA} / \text{cm}^2$ 、閾値電圧  $4.4 \text{ V}$  で、発振波長  $405 \text{ nm}$  の連続発振が確認され、50 時間以上の寿命を示した。

【0084】(比較例1) 一方、第2のバッファ層112を成長させず、さらに n 側コンタクト層12を Si を

1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたn型Ga<sub>0.8</sub>N単一で5μm成長させ、n側クラッド層14をSiを1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N単一で0.4μm成長させ、p側クラッド層19をMgを1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N単一で0.4μm成長させ、さらにp側コンタクト層20をMgを2×10<sup>20</sup>/

cm<sup>3</sup>ドープした単一のp型Ga<sub>0.8</sub>Nを0.2μm成長させる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を得た。つまり基本構成として、表1に示すように構成する。

【0085】

【表1】

基板	10・・・サファイア	
バッファ層	11・・・Ga <sub>0.8</sub> N	200 Å
nコンタクト層	12・・・Siドープn型Ga <sub>0.8</sub> N Si: 1×10 <sup>19</sup> /cm <sup>3</sup>	5 μm
クラッド防止層	13・・・Siドープn型In <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> N Si: 5×10 <sup>18</sup> /cm <sup>3</sup>	500 Å
nクラッド層	14・・・Siドープn型Al <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N Si: 5×10 <sup>18</sup> /cm <sup>3</sup>	0.5 μm
n光ガイド層	15・・・Siドープn型Ga <sub>0.8</sub> N Si: 5×10 <sup>18</sup> /cm <sup>3</sup>	0.1 μm
活性層(MQW)	16・・・SiドープIn <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N	25 Å
	(総膜厚175 Å) SiドープIn <sub>0.01</sub> Ga <sub>0.95</sub> N Si: 8×10 <sup>18</sup> /cm <sup>3</sup>	50 Å
キャップ層	17・・・Mgドープp型Al <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> N Mg: 1×10 <sup>20</sup> /cm <sup>3</sup>	300 Å
p光ガイド層	18・・・Mgドープp型Ga <sub>0.8</sub> N Mg: 1×10 <sup>20</sup> /cm <sup>3</sup>	0.1 μm
pクラッド層	19・・・Mgドープp型Al <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N Mg: 1×10 <sup>20</sup> /cm <sup>3</sup>	0.5 μm
pコンタクト層	20・・・Mgドープp型Ga <sub>0.8</sub> N Mg: 2×10 <sup>20</sup> /cm <sup>3</sup>	0.2 μm

【0086】このように構成した比較例のレーザ素子は、閾値電流密度7 kA/cm<sup>2</sup>で連続発振が確認されたが、閾値電圧は8.0 V以上あり、数分で切れてしまった。

【0087】[実施例2] 実施例1において、n側コンタクト層12を、Siを2×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたn型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる第1の層を30オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、アンドープのGa<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の層を30オングストロームの膜厚で成長させて、これを繰り返し、総膜厚1.2 μmの超格子構造とする。それ以外の構造は実施例1と同様の構造を有するレーザ素子としたところ、閾値電流密度2.7 kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.2 Vで、寿命も60時間以上を示した。

【0088】[実施例3] 実施例2において、n側コンタクト層12を構成する超格子において、第2の層をSiを1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGa<sub>0.8</sub>Nとする他は、実施例2と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、実施例2とほぼ同等の特性を有するレーザ素子を得

られた。

【0089】[実施例4] 実施例1において、第2のバッファ層112を、Siを1×10<sup>17</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGa<sub>0.8</sub>Nとして、4 μm成長させる他は、実施例1と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度2.9 kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.5 Vに上昇したが、寿命は50時間以上を示した。

【0090】[実施例5] 実施例1において、n側コンタクト層12を、Siを2×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層を60オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、Siを1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたGa<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の層を40オングストロームの膜厚で成長させて、順次これを繰り返し、総膜厚2 μmの超格子構造とする。そして、n側クラッド層14をSiを1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>ドープしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N単一で0.4 μm成長させる。それ以外の構造は実施例1と同様の構造を有するレーザ素子としたところ、閾値電流密度3.2 kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.8 Vで、寿命も30時間以上を示した。

【0091】〔実施例6〕実施例6は、実施例1と比較して、以下の(1)、(2)が異なる他は、実施例1と同様に構成される。

(1) バッファ層11成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、原料ガスにTMA、TMG、アンモニア、シランを用い、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層を60オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、シラン、TMAを止めアンドープのGa<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の層を40オングストロームの膜厚で成長させる。そして第1層+第2層+第1層+第2層+・・・というように超格子層を構成し、それぞれ第1の層を500層、第2の層を500層交互に積層し、総膜厚5μmの超格子よりなるn側コンタクト層12を形成する。

(2) 次に、実施例1と同様に、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるクラッド防止層13を500オングストロームの膜厚で成長させる。そして、温度を1050℃にして、TMA、TMG、アンモニア、シランを用い、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなるn側クラッド層14を0.5μmの膜厚で成長させる。後の、n側クラッド層14から上は、実施例1のレーザ素子と同様の構造を有するレーザ素子とする。つまり表1の基本構造において、n側コンタクト層12、及びp側クラッド層19を超格子とし、p側コンタクト層20の膜厚を実施例1のように150オングストロームとするレーザ素子を作製する。このレーザ素子は閾値電流密度3.2kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.8Vで、405nmの連続発振が確認され、寿命も30時間以上を示した。

【0092】さらに、実施例6の構造のLD素子のp側コンタクト層の膜厚を順次変更した際、そのp側コンタクト層の膜厚と、LD素子の閾値電圧との関係を図3に示す。これはp側コンタクト層が、左から順にA(10オングストローム以下)、B(10オングストローム)、C(30オングストローム)、D(150オングストローム、本実施例)、E(500オングストローム)、F(0.2μm)、G(0.5μm)、H(0.8μm)の場合の閾値電圧を示している。この図に示すように、p側コンタクト層の膜厚が500オングストロームを超えると閾値電圧が次第に上昇する傾向にある。p側コンタクト層20の膜厚は500オングストローム以下、さらに好ましくは300オングストローム以下であることが望ましい。なお10オングストローム以下(およそ1原子層、2原子層近く)になると、下部のp側クラッド層19の表面が露出してくるため、p電極のコンタクト抵抗が悪くなり、閾値電圧は上昇する傾向にある。しかしながら、本発明のLD素子では超格子層を有しているために、閾値電圧が比較例のものに比べて大幅に低下している。

【0093】(比較例2)表1の構成のレーザ素子において、n側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層を180オングストロームの膜厚で成長させ、続いてアンドープのGa<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の層を120オングストロームの膜厚で成長させ、総膜厚0.6μmの多層膜とする。つまり第1の層と第2の層の膜厚を厚くした構造で構成してレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度6.5kA/cm<sup>2</sup>で連続発振が確認され、閾値電圧が7.5Vであった。なおこのレーザ素子は数分で切れてしまった。

【0094】〔実施例7〕実施例6において、p側クラッド層19をMgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 、60オングストロームよりなる第1の層と、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>0.8</sub>N、40オングストロームよりなる第2の層とを積層した総膜厚0.5μmの超格子構造とする他は実施例6と同様のレーザ素子を作製する。つまり、実施例6のp側クラッド層19を構成する超格子層の膜厚を変える他は同様にしてレーザ素子を作製したところ、閾値電圧が実施例6のレーザ素子に比較して若干上昇する傾向にあったが、20時間以上の寿命を示した。

【0095】〔実施例8〕実施例7において、さらにn側クラッド層14をSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 、60オングストロームよりなる第1の層と、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>0.8</sub>N、40オングストロームよりなる第2の層とを積層した総膜厚0.5μmの超格子構造とする他は実施例7と同様のレーザ素子を作製する。つまり、実施例6のn側コンタクト層12、p側クラッド層19に加えてn側クラッド層を超格子としたレーザ素子は、実施例6とほぼ同等の特性を有していた。

【0096】〔実施例9〕実施例1において、第2のバッファ層112を成長させずに、表1に示すように、第1のバッファ層11の上に、直接n側コンタクト層12としてSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>0.8</sub>N層を5μm成長させる。その他は、実施例1と同様の構造を有するレーザ素子とする。つまり、表1の基本構造において、n側クラッド層14を20オングストロームのSi( $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ )ドープn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層と、20オングストロームのアンドープGa<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の層とを積層してなる総膜厚0.4μmの超格子構造とする。さらにp側クラッド層19を20オングストロームのMg( $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ )ドープp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層と、20オングストロームのMg( $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ )ドープp型Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第2の層とを積層してなる総膜厚0.4μmの超格子構造とする。さらにまたp側コンタクト層20を実施例1のように150オングストロームのMg( $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ )ドープp型Ga<sub>0.8</sub>Nとしたところ、

閾値電流密度 $3.3\text{ kA/cm}^2$ で、 $405\text{ nm}$ の連続発振が確認され、閾値電圧は $5.0\text{ V}$ 、寿命も $30$ 時間以上を示した。

【0097】[実施例10] 実施例9において、 $n$ 側クラッド層14の超格子を構成する第2の層を、 $\text{Si}$ を $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{GaN}$ とする他は、実施例9と同様のレーザ素子を作製する。つまりバンドギャップエネルギーの大きい方の層に、 $\text{Si}$ を多くドープする他は、実施例9と同様にして作製したレーザ素子は、実施例9とほぼ同等の特性を示した。

【0098】[実施例11] 実施例9において、 $n$ 側クラッド層14を構成する第2の層を、 $\text{Si}$ を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした $n$ 型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ とする他は同様にしてレーザ素子を作製する。つまり $n$ 側クラッド層14の超格子を構成する第2の層の組成を $\text{InGaN}$ とし、第1の層と第2の層との不純物濃度を同じにする他は、実施例9と同様にして作製したレーザ素子は、実施例9とほぼ同等の特性を示した。

【0099】[実施例12] 実施例9において、 $n$ 側クラッド層14を構成する第1の層( $\text{Si}: 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )の膜厚を $60$ オングストロームとし、第2の層を $\text{Si}$ を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした $40$ オングストロームの $\text{GaN}$ とし、総膜厚 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ の超格子構造とする。さらに $p$ 側クラッド層19を構成する第1の層( $\text{Mg}: 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )の膜厚を $60$ オングストロームとし、第2の層( $\text{Mg}: 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープ $\text{GaN}$ )の膜厚を $40$ オングストロームとし、総膜厚 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ の超格子構造とする。つまり $n$ 側クラッド層14を構成する第1の層と第2の層のドープ量を同じにして、膜厚を変化させ、 $p$ 側クラッド層19を構成する第1の層と第2の層との膜厚を変化させる他は、実施例9と同様にしてレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度 $3.4\text{ kA/cm}^2$ で、 $405\text{ nm}$ の連続発振が確認され、閾値電圧は $5.2\text{ V}$ 、寿命も $20$ 時間以上を示した。

【0100】[実施例13] 実施例11において、 $n$ 側クラッド層14を構成する第2の層( $\text{GaN}$ )の $\text{Si}$ 濃度を $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ とする他は実施例11と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、実施例11とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が作製できた。

【0101】[実施例14] 実施例11において、 $n$ 側クラッド層14を構成する第2の層( $\text{GaN}$ )をアンドープとする他は実施例11と同様の構造を有するレーザ素子を作製したところ、実施例11とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が作製できた。

【0102】[実施例15] 実施例9において、 $n$ 側クラッド層14を $\text{Si}$ を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした $n$ 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 単一で $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製する。つまり、表1の基本構造において、 $p$ 側クラッド層19のみを実施例1のように

$\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした $p$ 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層、 $20$ オングストロームと、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした $p$ 型 $\text{GaN}$ よりなる第2の層 $20$ オングストロームとからなる総膜厚 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ の超格子構造とし、さらに、 $p$ 側コンタクト層20を実施例1のように $150$ オングストロームの $\text{Mg}$ ( $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ )ドープ $p$ 型 $\text{GaN}$ としたところ、同じく閾値電流密度 $3.4\text{ kA/cm}^2$ で、 $405\text{ nm}$ の連続発振が確認され、閾値電圧は $5.1\text{ V}$ 、寿命は $20$ 時間以上を示した。

【0103】[実施例16] 実施例15において、 $p$ 側クラッド層19を構成する超格子層の膜厚を第1の層( $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )を $60$ オングストロームとし、第2の層( $\text{GaN}$ )を $40$ オングストロームとして積層し、総膜厚 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ とする他は実施例14と同様のレーザ素子を得たところ、閾値電圧は若干上昇する傾向にあったが、寿命は $20$ 時間以上あった。

【0104】[実施例17] 実施例9において、 $p$ 側クラッド層19を $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした $p$ 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 単一で $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製する。つまり、表1の基本構造において、 $n$ 側クラッド層14のみを実施例1のように $\text{Si}$ を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした $n$ 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層、 $20$ オングストロームと、アンドープの $\text{GaN}$ よりなる第2の層 $20$ オングストロームとからなる総膜厚 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ の超格子構造とし、さらに、 $p$ 側コンタクト層20を実施例1のように $150$ オングストロームの $\text{Mg}$ ( $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ )ドープ $p$ 型 $\text{GaN}$ としたところ、同じく閾値電流密度 $3.5\text{ kA/cm}^2$ で、 $405\text{ nm}$ の連続発振が確認され、閾値電圧は $5.4\text{ V}$ 、寿命は $10$ 時間以上を示した。

【0105】[実施例18] 実施例17において、 $n$ 側クラッド層14を構成する超格子層の膜厚を第1の層( $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )を $70$ オングストロームとし、第2の層を $\text{Si}$ を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 、 $70$ オングストロームとして積層し、総膜厚 $0.49\text{ }\mu\text{m}$ とする他は実施例17と同様のレーザ素子を得たところ、実施例16に比べて閾値電圧が若干上昇する傾向にあったが、同じく $10$ 時間以上の寿命を有するレーザ素子が得られた。

【0106】[実施例19] 実施例17において、 $n$ 側クラッド層14を構成する超格子層の膜厚を第1の層( $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )を $60$ オングストロームとし、第2の層(アンドープ $\text{GaN}$ )を $40$ オングストロームとして積層し、総膜厚 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ とする他は実施例16と同様のレーザ素子を得たところ、実施例17に比べて閾値電圧が若干上昇する傾向にあったが、同じく $10$ 時間以上の寿命を有するレーザ素子が得られた。

【0107】[実施例20] 実施例9において、さらに $n$ 側光ガイド層15をアンドープの $\text{GaN}$ よりなる第1

の層、20オングストロームと、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第2の層、20とを積層してなる総膜厚800オングストロームの超格子層とする。それに加えて、p側光ガイド層18もアンドープの $\text{GaN}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第2の層、20オングストロームとを積層してなる総膜厚800オングストロームの超格子構造とする。つまり、表1の基本構造において、n側クラッド層14、n側光ガイド層15、p側光ガイド層18、及びp側クラッド層19とを超格子構造とし、さらにまたp側コンタクト層20を実施例1のように150オングストロームの $\text{Mg}$  ( $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ) ドープp型 $\text{GaN}$ としたところ、閾値電流密度 $2.9 \text{ kA}/\text{cm}^2$ で、405 nmの連続発振が確認され、閾値電圧は4.4 V、寿命も60時間以上を示した。

【0108】[実施例21] 本実施例は図1のLED素子を元に説明する。実施例1と同様にしてサファイアよりなる基板1の上に $\text{GaN}$ よりなるバッファ層2を200オングストロームの膜厚で成長させ、次いで $\text{Si}$ を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  ドープしたn型 $\text{GaN}$ よりなるコンタクト層を5  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させ、次に $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ よりなる膜厚30オングストロームの単一量子井戸構造よりなる活性層4を成長させる。

【0109】(p側超格子層) 次に、実施例1と同様にして、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  ドープしたp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層を20オングストロームの膜厚で成長させ、続いて $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  ドープしたp型 $\text{GaN}$ よりなる第2の層を20オングストロームの膜厚で成長させ、総膜厚0.4  $\mu\text{m}$ の超格子よりなるp側クラッド層5を成長させる。このp側クラッド層4の膜厚も特に限定しないが、100オングストローム以上、2  $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1  $\mu\text{m}$ 以下で成長させることが望ましい。

【0110】次にこのp側クラッド層5の上に $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  ドープしたp型 $\text{GaN}$ 層を0.5  $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。成長後、ウェーハを反応容器から取り出し実施例1と同様にして、アニーリングを行った後、p側コンタクト層6側からエッチングを行いn電極9を形成すべきn側コンタクト層3の表面を露出させる。最上層のp側コンタクト層6のほぼ全面に膜厚200オングストロームの $\text{Ni}-\text{Au}$ よりなる透光性のp電極7を形成し、その全面電極7の上に $\text{Au}$ よりなるpパッド電極8を形成する。露出したn側コンタクト層の表面にも $\text{Ti}-\text{Al}$ よりなるn電極9を形成する。

【0111】以上のようにして電極を形成したウェーハを350  $\mu\text{m}$ 角のチップに分離してLED素子としたところ、 $I_f$  20 mAにおいて520 nmの緑色発光を示し、 $V_f$ は3.2 Vであった。これに対し、p側クラッド層5を単一の $\text{Mg}$  ドープ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ で構成したLED素子の $V_f$ は3.4 Vであった。さらに静電耐圧

は本実施例の方が2倍以上の静電耐圧を有していた。

【0112】[実施例22] 実施例21において、p側クラッド層5を構成する超格子層を、第1の層の膜厚を50オングストロームとし、第2の層を $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  ドープした $\text{GaN}$ 、50オングストロームとして、それぞれ25層積層し、総膜厚0.25  $\mu\text{m}$ の超格子とする他は同様にしてLED素子を作成したところ、実施例21とほぼ同等の特性を有するLED素子が得られた。

【0113】[実施例23] 実施例21において、p側クラッド層5を構成する超格子層の厚さを、第1の層100オングストローム、第2の層を70オングストロームの膜厚として、総膜厚0.25  $\mu\text{m}$ の超格子とする他は同様にしてLED素子を作成したところ、 $V_f$ は3.4 Vであったが、静電耐圧は従来のものよりも20%以上優れていた。

【0114】[実施例24] 実施例21において、n側コンタクト層3を成長させる際、 $\text{Si}$ を $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層を60オングストローム、アンドープの $\text{GaN}$ よりなる第2の層を40オングストロームの膜厚で成長させ、それぞれ第1の層を500層、第2の層を500層交互に積層し、総膜厚5  $\mu\text{m}$ の超格子とする。その他は実施例12と同様にしてLED素子を作製したところ、同じく $I_f$  20 mAにおいて、 $V_f$ は3.1 Vに低下し、静電耐圧は従来に比較比較して2.5倍以上に向上した。

【0115】[実施例25] 実施例23において、p側クラッド層5を構成する超格子の第1の層( $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ )の膜厚を60オングストロームとし、第2の層の膜厚を40オングストロームとして、それぞれ25層交互に積層して、総膜厚0.3  $\mu\text{m}$ とする他は同様の構造を有するLED素子を作製したところ、 $V_f$ は3.2 Vで、静電耐圧は従来の2倍以上であった。

【0116】[実施例26] 本実施例は図4に示すレーザ素子を基に説明する。図4も、図2と同様にレーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の断面図であるが、図2と異なるところは、基板10に $\text{GaN}$ よりなる基板101を用いているところと、第2のバッファ層112を成長させずに、n型不純物をドープした第3のバッファ層113を成長させているところにある。この図4に示すレーザ素子は以下の方法によって得られる。

【0117】まずサファイア基板上にMOVPE法、若しくはHVPE法を用いて、 $\text{Si}$ を $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  ドープした $\text{GaN}$ 層を厚さ300  $\mu\text{m}$ で成長させた後、サファイア基板を除去して厚さ300  $\mu\text{m}$ の $\text{Si}$  ドープ $\text{GaN}$ 基板101を作製する。 $\text{GaN}$ 基板101は、このように窒化物半導体と異なる基板の上に、例えば100  $\mu\text{m}$ 以上の膜厚で成長させた後、その異種基板を除去することによって得られる。 $\text{GaN}$ 基板101はアンドー

プでも良いし、またn型不純物をドーピングして作製しても良い。n型不純物をドーピングする場合には通常 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲で不純物をドーピングすると結晶性の良いGa<sub>0.9</sub>N基板が得られる。

【0118】Ga<sub>0.9</sub>N基板101作製後、温度を1050℃にして、Siを $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなる第3のバッファ層113を3μmの膜厚で成長させる。なお第3のバッファ層113は図1、図2においてn側コンタクト層14に相当する層であるが、電極を形成する層ではないので、ここではコンタクト層とは言わず、第3のバッファ層113という。なおGa<sub>0.9</sub>N基板101と第3のバッファ層113との間に、実施例1と同様にして低温で成長させる第1のバッファ層を成長させても良いが、第1のバッファ層を成長させる場合には、300オングストローム以下にすることが望ましい。

【0119】次に第3のバッファ層113の上に、実施例1と同様にSiを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるクラック防止層13を500オングストロームの膜厚で成長させる。次に、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層、20オングストロームと、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたGa<sub>0.9</sub>Nよりなる第2の層20オングストロームとを100回交互に積層した、総膜厚0.4μmの超格子層よりなるn側クラッド層14を成長させる。次に実施例1と同様に、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるn側光ガイド層15を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0120】次に、アンドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる井戸層、25オングストロームと、アンドープGa<sub>0.9</sub>Nよりなる障壁層50オングストロームとを成長させ、交互に2回繰り返し、最後に井戸層を積層した総膜厚175オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層16を成長させる。

【0121】次に、実施例1と同様に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるp側キャップ層17を300オングストロームの膜厚で成長させ、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp側光ガイド層18を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0122】次に実施例1と同様にして、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる第1の層、20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなる第2の層、20オングストロームよりなる、総膜厚0.4μmの超格子層よりなるp側クラッド層19を形成し、最後に、p側クラッド層19の上に、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp側コンタクト層20を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0123】反応終了後、700℃でアニーリングした

後、実施例1と同様に、RIE装置により最上層のp側コンタクト層20と、p側クラッド層19とをエッチングして、4μmのストライプ幅を有するリッジ形状とする。

【0124】次に、実施例1と同じくp側コンタクト層20のストライプリッジ最表面のほぼ全面にNiとAuよりなるp電極21を形成し、Ga<sub>0.9</sub>N基板101の裏面のほぼ全面に、TiとAlよりなるn電極23を形成する。

【0125】次に、図4に示すようにp電極21の面積を除く、p側クラッド層19のSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜25を形成し、この絶縁膜25を介して、p電極21と電気的に接続したpパッド電極22を形成する。

【0126】電極形成後、p電極21に垂直な方向でGa<sub>0.9</sub>N基板101をバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。なおGa<sub>0.9</sub>N基板の劈開面はM面とする。劈開面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断して図4に示すレーザチップとした。次にチップをフェースアップ(基板とヒートシンクとが対向した状態)でヒートシンクに設置し、pパッド電極22をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度2.5kA/cm<sup>2</sup>、閾値電圧4.0Vで、発振波長405nmの連続発振が確認され、500時間以上の寿命を示した。これは基板にGa<sub>0.9</sub>Nを使用したことにより、結晶欠陥の広がりが少なくなったことによる。

【0127】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る窒化物半導体素子は、活性層以外のp型窒化物半導体領域又はn型窒化物半導体領域において、超格子層を用いて構成しているので、電力効率を極めて良くすることができる。すなわち、従来の窒化物半導体素子では、活性層を多重量子井戸構造とすることは提案されていたが、活性層を挟む、例えばクラッド層等は単一の窒化物半導体層で構成されているのが通常であった。しかし、本発明の窒化物半導体素子では量子効果が出現するような層を有する超格子層をクラッド層、若しくは電流を注入するコンタクト層として設けているため、クラッド層側の抵抗率を低くすることができる。これによって、例えばLED素子の閾値電流、閾値電圧を低くでき、該素子を長寿命とすることができる。さらに従来のLEDは静電気に弱かったが、本発明では静電耐圧に強い素子を実現できる。このようにV<sub>f</sub>、閾値電圧が低くできるので、発熱量も少なくなり、該素子の信頼性も向上させることができる。本発明の窒化物半導体素子によれば、LED、LD等の発光素子はもちろんのこと、窒化物半導体を用いた太陽電池、光センサー、トランジスタ等に利用すると非常に効率の高いデバイスを実現することが可能となりその産業上の利用価値は非常に大きい。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る実施形態1の窒化物半導体素子（LED素子）の構成を示す模式断面図である。

【図2】 本発明に係る実施形態2の窒化物半導体素子（LD素子）の構成を示す模式断面図である。

【図3】 本発明に係る実施例1のLD素子におけるp側コンタクト層の膜厚と、閾値電圧との関係を示すグラフである。

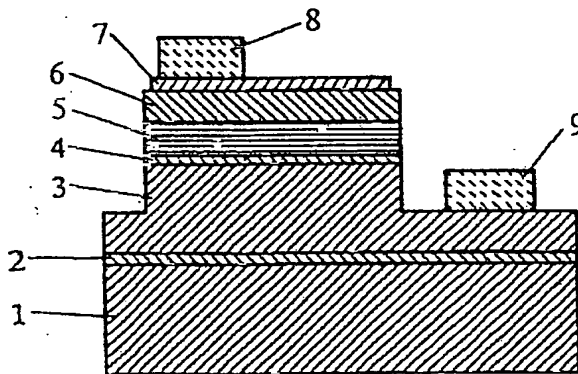
【図4】 本発明に係る実施例26のLD素子の模式断面図である。

## 【符号の説明】

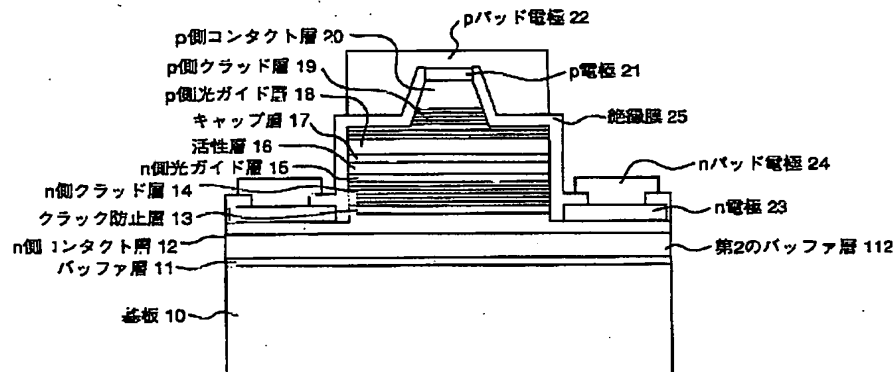
1、10・・・基板、  
2、11・・・バッファ層、  
3、12・・・n側コンタクト層、  
13・・・クラック防止層、

14・・・n側クラッド層（超格子層）、  
15・・・n側光ガイド層、  
4、16・・・活性層、  
17・・・キャップ層、  
18・・・p側光ガイド層、  
5、19・・・p側クラッド層（超格子層）、  
6、20・・・p側コンタクト層、  
7、21・・・p電極、  
8、22・・・pパッド電極、  
9、23・・・n電極、  
24・・・nパッド電極、  
25・・・絶縁膜、  
101・・・GaN基板、  
112・・・第2のバッファ層、  
113・・・第3のバッファ層。

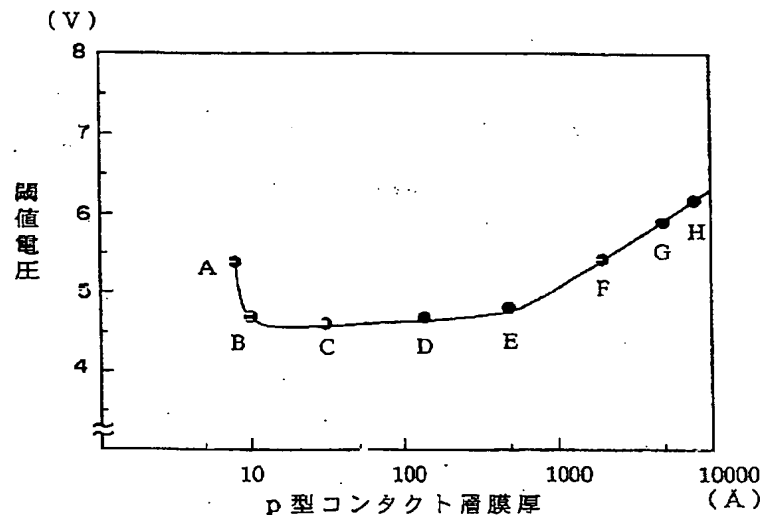
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

